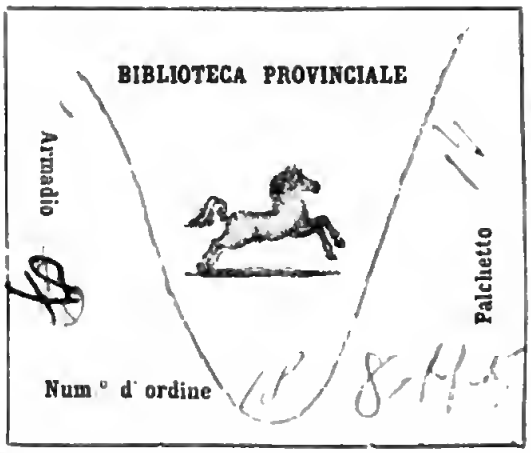
DO PIZZOFALCONE



NAZIONALE
B. Prov.
539
NAPOLI
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III

83. Gw.f
II
539

DBN
C097709

RECHERCHES

SUR

LA CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES:

Ouvrage qui a remporté le Prix quadruple proposé par l'Académie Royale des Sciences, Inscriptions & Belles-Lettres de Toulouse, pour l'année 1762.

Par M. l'Abbé BOSSUT, *Professeur Royal de Mathématiques aux Ecoles du Génie; Correspondant de l'Académie Royale des Sciences de Paris.*

ET

Par M. VIALLET, *sous-Inspecteur des Ponts & Chaussées de la Province de Champagne, Membre de la Société Littéraire de Châlons-sur-Marne.*

BIBLIOTECA PROVINCIALE DI NAPOLI
BIBLIOTECA PROVINCIALE NAPOLI
NAPOLI

A PARIS, RUE DAUPHINE,

Chez CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roi pour l'Artillerie & le Génie, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. LXIV.

R. ISTITUTO ORIENTALE NAPOLI BIBLIOTECA M RIPA

PROVINCIALE
DI
NAPOLI

RECHERCHES

SUR

LA CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES.

Ouvrage pour ſervir de ſuite à la ſeconde Partie de l'Architecture Hydraulique de M. BELIDOR.

ſitet à conſtruire cette chauſſée en maçonnerie. Comme les murs de quai & les reſervoirs ſont les plus importans des ouvrages qui ſe conſtruiſent en maçonnerie pour contenir & diriger les eaux, & que ce que nous dirons de leur conſtruction peut facilement s'appliquer aux chauſſées d'étang en maçonnerie, relativement au plus ou moins de ſolidité dont elles ont beſoin, il nous a paru inutile d'entrer ici dans aucun détail à cet égard.

V I.

Les chauſſées d'étang en maçonnerie étant fort coûteuſes, ſurtout lorſque la mauvaiſe qualité du terrein exige qu'on fonde ſur pilotis, l'uſage ordinaire eſt de faire ces chauſſées en terre avec un revêtement à pierres ſeches du côté de l'eau. La terre avec laquelle on forme les chauſſées doit être à peu près de la nature de celle des prairies. On doit ſur-tout rejetter la terre molle & fangeuſe qui prend un trop grand talut. Le ſablon fin eſt, par une raiſon contraire, ſujet au même inconvénient. Plus les terres ſe rapprochent d'un juſte milieu entre ces deux extrêmités vicieuſes, plus elles ſont propres à former une chauſſée, & en général toute eſpece de remblai. Quelle que ſoit leur qualité, il faut les répandre également & les battre à la dame par lit d'un pied d'épaiſſeur au plus. Lorſqu'elles ſont ſeches, il convient de les arroſer modérément, afin de leur faire prendre plus vîte leur taſſement.

Quand la terre que le pays fournit n'a pas une tenacité ſuffiſante pour empêcher la filtration des eaux, on met dans toute la longueur de la chauſſée immédiatement derriere le revêtement en pierres ſeches, un corroi de glaiſe marqué ABCD au profil, Fig. 1. & qu'il faut faire entrer de 2 ou 3 pieds en contrebas du terrein naturel EF. On met un pareil corroi autour de la buſe qui ſert de décharge de fond à l'étang. La glaiſe doit être nette & bien corroyée, & ne doit ſur-tout pas être trop détrempée. Il eſt avantageux dans tous les cas de ne mettre l'eau dans l'étang que quelque tems après la perfection de la chauſſée ; mais cette précaution devient indiſpenſable, lorſqu'on ſoupçonne que le corroi a été trop delayé.

On ne doit pas aſſeoir le remblai ſur le gazon EF, mais il faut labourer ou becher le terrein afin que la nouvelle terre faſſe liaiſon avec l'ancienne. C'eſt auſſi pour cela qu'un aqueduc en maçonnerie, ſous une chauſſée, eſt ſujet à moins d'inconvéniens qu'une buſe de charpente, parce que la terre ſe lie mieux avec

les inégalités de la maçonnerie qu'avec le bois. Mais lorſqu'on ſe trouve obligé de faire une buſe de charpente, ou en général de faire traverſer un corroi de glaiſe par une piece de bois, il eſt à propos de hacher & raper le bois à ſa ſuperficie. Cette précaution trop négligée juſqu'à préſent, pourra paroître minutieuſe; mais nous en garantiſſons l'importance & le ſuccès d'après notre propre expérience.

VII.

Le revêtement en pierres ſeches, qui ſe conſtruit du côté de l'étang, a pour objet de ſoutenir les terres auxquelles on ne donne pas ordinairement tout le talut qu'elles prendroient d'elles-mêmes, & il ſert d'ailleurs à les garantir du frottement occaſionné par l'agitation de eaux; il conviendroit, pour plus de ſolidité, que ſon parement intérieur fût à-plomb ſuivant la ligne BC; mais pour épargner la pierre, lorſqu'elle eſt rare, on fonde ce revêtement par redants, comme BOPR. On ſe contente même quelquefois d'un ſimple parement (Fig. 2). Mais il faut toujours aſſeoir le pied de ces revêtemens ſur le terrein ſolide, ou ſur un grillage de charpente, ſi le ſolide ſe trouve trop bas. On doit auſſi tenir les joints de lit des pierres du parement NF perpendiculaires ſur cete ligne. Il eſt bien vrai que par ce moyen l'eau s'introduit plus facilement dans la chauſſée; mais cet inconvénient eſt plus que compenſé par la ſolidité que ce genre de conſtruction donne au parement. Il faut cependant que l'aſſiſe de libages qui le porte ait ſon lit inférieut de niveau, le lit ſupérieur étant toujours perpendiculaire au talut. Le tout eſt marqué dans les figures 1 & 2.

Fig. 2.

Fig. 1 & 2.

Dans le cas où l'on auroit facilement des moilons d'un bel échantillon, ſuſceptibles par conſéquent d'être eſmillés à joints quarrés, & d'être conduits par aſſiſes égales, on peut les poſer de niveau ſur leur lit avec retraite à chaque aſſiſe, ainſi qu'il eſt marqué dans la figure 3. On voit par cette même figure qu'il faut auſſi garnir en moilon poſé à ſec le derriere de ce parement, de façon que l'épaiſſeur entiere du revêtement ſoit au moins de deux pieds & demi. Cette eſpece de conſtruction exige moins de talut que les perés blacaillés; ce qui a quelquefois ſon avantage, comme lorſque la chauſſée deſtinée en même tems à ſervir de chemin, a plus de largeur par le haut qu'il ne lui faut d'épaiſſeur pour ſoutenir la pouſſée de l'eau, mais on ne trouve pas par-tout des matériaux qui y ſoient propres.

Fig. 3.

On fortifie ſouvent le parement expoſé à l'eau & même tous les

RECHERCHES

SUR

LA CONSTRUCTION LA PLUS AVANTAGEUSE

DES DIGUES.

I.

L'Académie Royale des Sciences, Inſcriptions & Belles-Lettres de Toulouſe propoſe pour ſujet du Prix quadruple qu'elle doit adjuger en 1762, le Problême ſuivant :

Déterminer la direction & la forme la plus avantageuſe d'une Digue, pour qu'elle réſiſte avec tout l'avantage poſſible aux efforts des eaux, en ayant égard aux diverſes manieres dont elles tendent à la détruire.

Ce ſujet propoſé ainſi généralement comprend une des branches les plus étendues & les plus importantes de l'Architecture hydraulique. Nous nous ſommes efforcés de le traiter avec tout le ſoin qu'il mérite. Non contents de donner la ſolution théorique de chaque problême, & d'en faire l'application à la pratique, nous ſommes encore entrés dans les détails mêmes de la conſtruction. On ſent bien que ce qui concerne ce dernier objet, ne peut pas être auſſi neuf que le reſte : cependant nous croyons pouvoir aſſurer qu'on y trouvera pluſieurs choſes qu'on chercheroit vainement ailleurs.

II.

On appelle généralement *digue* tout obſtacle oppoſé à l'effort que fait un fluide pour ſe répandre. En ce ſens, il y a des digues *naturelles* & des digues *artificielles*. On comprend aſſez qu'il ne s'agit ici que de ces dernieres ; & alors une digue eſt un ſolide formé de terre ou de pierre, de charpente ou de faſcinage, ſouvent de pluſieurs de ces matieres, ou même de toutes enſemble,

les deux, par une rangée de pieux derriere leſquels on met de gros libages, des madriers ou des faſcines. Quelquefois on ſe contente de revêtir le parement d'un ſimple faſcinage. Nous aurons occaſion de parler dans la ſuite de ces différentes conſtructions : il ſuffit pour le préſent de remarquer que le parement d'une chauſſée d'étang n'étant pas expoſé au choc des eaux courantes, il exige communément moins de ſolidité que les ouvrages de même genre qui ſe font ſur les rivieres.

VIII.

Il eſt indiſpenſable pour l'écoulement du ſurplus des eaux de l'étang, lorſqu'il eſt une fois rempli, de pratiquer à un ou même à chacun des deux bouts de la chauſſée, une décharge de ſuperficie appellée communément *glacis*. Comme nous traiterons en détail des reverſoirs qui ſe font ſur les grandes rivieres, il ſera aiſé d'en déduire des principes de conſtruction pour les glacis d'étang, dont la ſolidité doit plus ou moins approcher de celle des reverſoirs des rivieres, ſuivant la quantité & la rapidité de l'eau qui doit y paſſer.

Il eſt toujours fort utile de paver le deſſus de la chauſſée & de la bomber vers ſon milieu, afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales qui détruiſent beaucoup de chauſſées, lorſqu'on néglige cette précaution.

IX.

Tels ſont les principaux moyens qu'il faut mettre en œuvre pour lier parfaitement enſemble toutes les parties de la chauſſée, de maniere qu'elles ne faſſent plus, pour ainſi dire, qu'un corps continu. Examinons maintenant l'épaiſſeur & la forme qu'elle doit avoir pour réſiſter à la preſſion des eaux. Le calcul doit être établi ſur l'une ou l'autre des deux hypotheſes ſuivantes.

1°. On peut conſidérer la digue comme un corps abſolument continu que la preſſion des eaux tend à renverſer, en le faiſant tourner ſur l'angle poſtérieur de ſa baſe regardé comme fixe.

Cette maniere de conſidérer l'effort des eaux contre une digue, eſt principalement applicable à celles qui ſe conſtruiſent en maçonnerie, ſur-tout lorſque la maçonnerie a une fois pris corps.

2°. La digue peut être regardée comme un ſolide inébranlable dans ſes fondemens, mais qui ne réſiſte pas également ſur toute ſa hauteur, & qui tend à ſe diviſer par tranches horizontales ; enſorte qu'il s'agit de déterminer la figure & les dimenſions que

doit avoir cette même digue relativement aux différentes charges d'eau qu'elle ſoutient à différentes profondeurs.

Cette ſeconde hypotheſe convient ſur-tout aux digues qui ſeroient conſtruites entierement en terre.

On pourroit encore regarder les digues comme ne pouvant être ni rompues, ni renverſées, mais comme devant gliſſer d'une ſeule piece, de ſorte qu'elles ne demeureroient ſtables qu'en vertu de la réſiſtance occaſionnée par le frottement de leur baſe contre le ſol ſur lequel elles ſeroient poſées ; mais au moyen des précautions que nous avons indiquées (Art. VI), & de l'attention qu'on doit avoir de fonder ſolidement les digues & de les encaiſſer dans le terrein ſur lequel on les établit, il eſt entierement inutile de les conſidérer ſous ce point de vue. Cependant ſi quelque Lecteur vouloit faire ce calcul, il en viendroit facilement à bout, en obſervant qu'on auroit alors ces deux conditions à remplir. En premier lieu la force horizontale qui tend à faire reculer la digue, devroit être égale à la réſiſtance du frottement qui eſt toujours, comme on ſçait, une certaine partie de la preſſion totale que ſouffre le fond ſur lequel la digue tendroit à gliſſer. Secondement le moment de la force horizontale, par rapport à l'angle poſtérieur de la baſe ſur lequel ſe fait la rotation au premier inſtant, ſeroit égal au moment de toutes les forces verticales, par rapport au même angle. Il ſuffit d'indiquer cette méthode.

---

§. I. *Dimenſions de la Digue, dans la premiere hypotheſe.*

X.

FIG. 4 Suppoſons que FHNSE ſoit le profil de la digue regardée comme un ſolide dont toutes les parties ſont liées & continues, HK le niveau des eaux qui tendent à la renverſer en la faiſant tourner ſur le point E conſideré comme fixe ; ſoient FHN, SE des lignes quelconques droites ou courbes, mais données. Il s'agit de trouver l'épaiſſeur FE que la digue doit avoir à ſon pied, afin de n'être pas renverſée.

Il eſt évident que dans le cas où les terres au devant de la fondation du parement d'amont ne joindroient pas parfaitement ce parement, l'eau s'inſinueroit dans ce vuide & preſſeroit la digue en cet endroit ſuivant toute la hauteur de ſon niveau au deſſus du fond de l'affouillement. Ainſi, pour plus de ſûreté, il faut compter

la profondeur des eaux depuis la naiſſance de la fondation, juſqu'au niveau des plus hautes eaux.

Qu'on mene à l'axe horizontal HK les ordonnées infiniment voiſines PM, *pm*; & qu'on abaiſſe des points H & M les verticales HT, MX. Soit tirée l'horizontale ML, & ſoit élevée la verticale EL.

Suppoſons

- HP . . . . . = x
- PM . . . . . = y
- Pp ou MV . . . . . = dx
- Vm . . . . . = dy
- Mm . . . . . = ds
- HT . . . . . = a
- FT . . . . . = f
- FE . . . . . = ζ
- Le moment de l'aire FHNSE par rapport au point E = Z
- La peſanteur ſpécifique de l'eau . . . . = p
- La peſanteur ſpécifique de la digue . . . = n

On ſçait que chaque élément Mm ſouffre une preſſion perpendiculaire, laquelle eſt proportionnelle à la hauteur PM. Soit repréſentée cette force par la droite RM perpendiculaire à Mm, & ſoit décompoſée cette même force en deux autres RQ, RY, l'une horizontale, l'autre verticale. La premiere RQ eſt . . $pyds \times \frac{RQ}{RM}$: or les deux triangles RQM, mVM ayant les côtés perpendiculaires chacun à chacun, & étant par conſéquent ſemblables, on a $\frac{RQ}{RM} = \frac{Vm}{Mm} = \frac{dy}{ds}$; donc la force RQ eſt . . . $pyds \times \frac{dy}{ds} = pydy$. D'où l'on voit que cette force ſera toujours la même que la force contre Vm, quelle que puiſſe être la courbe HF. Le moment de cette même force, par rapport au point E, eſt $pydy \times LE = pydy \times (a - y) = paydy - pyydy$, dont l'intégrale eſt $\frac{payy}{2} - \frac{py^3}{3}$: ſuppoſant $y = a$, il nous viendra $\frac{pa^3}{6}$ pour le

moment total de la pouſſée horizontale de l'eau par rapport au point E, & par conſéquent ce moment ſera toujours le même que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau contre la verticale FK. La ſeconde force RY ou QM, eſt . . . . . $pyds \times \frac{MQ}{RM} = pyds \times \frac{dx}{ds} = pydx$. Cette force conſpire, avec le poids de la digue, à affermir cette même digue ſur ſes fondemens; & ſon moment par rapport au point E, eſt . . . $pydx \times XE = pydx \times (\zeta - f + x)$. Donc le moment de la pouſſée verticale entiere de l'eau, par rapport au point E, ſera $\int (\zeta - f + x) pydx$. Lorſque cette intégrarion ſera effectuée, après avoir exprimé x en y à l'aide de l'équation de la courbe connue FH, il faudra ſuppoſer $y = a$, afin d'avoir le moment de la pouſſée verticale de l'eau, correſpondant à toute la hauteur HT.

Maintenant il eſt clair que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau qui tend à renverſer la digue, doit être contrebalancé par la ſomme des momens de la pouſſée verticale de l'eau & du poids même de la digue, ou par le *moment unique* qui en réſulte. Ce moment unique conſtitue la *ſtabilité* de la digue ſur ſon pied FE. Comme il convient toujours de donner plus de ſtabilité à la digue, qu'il ne faut pour le ſimple équilibre, on n'aura qu'à multiplier par un nombre m de fois le moment de la pouſſée horizontale de l'eau, & égaler le produit à la ſomme des momens de la pouſſée verticale & du poids de la digue, ce qui donnera l'équation ſuivante.

$$(A)\ \frac{mpa^3}{6} = \int (\zeta - f + x) pydx + nZ,$$

laquelle comprend tous les cas de ſtabilité; car ſi on veut, par exemple, que la ſtabilité de la digue ſoit ſuffiſante pour faire équilibre à la pouſſée horizontale de l'eau, on aura $m = 1$; ſi on veut que la ſtabilité de la digue ſoit double de la ſtabilité d'équilibre, on aura $m = 2$ &c. Nous n'avons pas beſoin de dire que Z eſt une fonction donnée de l'inconnue ζ.

XI.

L'équation générale (A) eſt ſuſceptible d'une infinité d'applications, ſuivant la nature des courbes qui forment les deux paremens. Elle préſente naturellement cette réflexion générale. Puiſque le moment de la pouſſée horizontale de l'eau eſt toujours le même, quelle que puiſſe être la courbure du parement

d'amont HF, & que le moment de la pouſſée verticale augmente à meſure que HF s'incline ſur la baſe FE, il eſt clair que, toutes choſes d'ailleurs égales, il eſt avantageux de donner le plus de talut qu'il eſt poſſible au parement d'amont. De cette remarque naît l'idée d'un problême curieux, lequel conſiſteroit à trouver pour HF une courbe telle que l'aire FHNSE étant un *minimum*, la ſomme des momens de cette même aire & de la pouſſée verticale de l'eau fût un *maximum*. Ce problême eſt du même genre que ceux des iſoperimetres qui ont occupé ſi long-tems MM. *Bernoulli*, & pluſieurs autres Géometres. Il ſe réſoud très-aiſément par une méthode qu'on expoſera ci-deſſous dans l'article XXXVIII. Nous ne le donnons pas ici, parce que la pratique n'en ſauroit tirer aucun ſecours: nous nous bornons à la conſidération des taluts rectilignes.

X I I.

Soient NF, SE deux lignes droites inclinées à l'horizon ſous des angles donnés NFT, SEQ, & ſuppoſons que NS ſoit une ligne droite horizontale. En conſervant ici la conſtruction & les dénominations de l'article X, ſoient de plus abaiſſées les verticales NZ, SQ, & faiſons SQ=NZ=b, EQ=g, FZ=r; on aura Fig. 5.

$x = \frac{fy}{a}$, à cauſe des triangles ſemblables HPM, FTH;

$$\int(z-f+x)pydx = \int\frac{f}{a}\left(z-f+\frac{fy}{a}\right)pydy = \frac{pfzyy}{2a} - \frac{pffyy}{2a} + \frac{pffy^3}{3a^2}$$

$$= (\text{en faiſant } y=a)\ \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6};$$

$$Z = (z-r-g)\times b\times\left(g+\frac{z-r-g}{2}\right) + \frac{br}{2}\times\left(z-\frac{2}{3}r\right) + \frac{bg}{2}\times\frac{2g}{3}$$

$$= \frac{bzz}{2} - \frac{brz}{2} + \frac{brr}{6} - \frac{bgg}{6}.$$

Par conſéquent l'équation générale (A) deviendra celle-ci, qui eſt du ſecond degré.

$$(B)\ \frac{mpa^3}{6} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{nbzz}{2} - \frac{nbrz}{2} + \frac{nbrr}{6} - \frac{nbgg}{6}.$$

Cette formule ſervira en général à déterminer la baſe z d'une digue dont les deux parcmens ſont rectilignes & en talut.

Lorſque l'angle SEQ eſt droit, ou que le parement d'aval eſt vertical, on a $g=o$; & la formule devient

$$(C)\ \frac{mpa^3}{6} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{nbzz}{2} - \frac{nbrz}{2} + \frac{nbrr}{6}.$$

Lorſque les deux paremens ſont verticaux, on a $r=o$, $g=o$; & la formule devient

$$(D)\ \frac{mpa^3}{6}=\frac{nbzz}{2}.$$

XIII.

Quoique nous ayons déja fait ſentir l'avantage des taluts, il ne ſera peut-être pas inutile de mettre ici la choſe dans la derniere évidence par un exemple.

Suppoſons que la plus grande hauteur des eaux ſoit de 18 pieds, que nous prenons auſſi pour la hauteur de la digue, enſorte que le point N tombe ſur le point H. Suppoſons de plus que les deux paremens ayent, ſuivant l'uſage ordinaire, chacun un talut qui ſoit $\frac{1}{6}$ de leur hauteur. Enfin ſuppoſons que les peſanteurs ſpécifiques de l'eau & de la maçonnerie ſoient entr-elles comme les nombres 7 & 12, & que la ſtabilité de la digue doive être double de celle que requiert l'équilibre. Sur toutes ces hypotheſes, on aura $a=b=18$ pieds, $r=f=g=3$ pieds, $p=7$, $n=12$, $m=2$. Par conſéquent l'équation (B) deviendra ici

$$zz-\frac{45}{56}z=\frac{4599}{56}\ \text{pieds.}$$

D'où l'on tirera z un peu moindre que 12 pieds. Suppoſons $z=12$ pieds: la ſurface du profil ſera de 162 pieds quarrés.

Maintenant ſi les deux paremens étoient verticaux, on trouveroit que la baſe du profil, correſpondante auſſi à une ſtabilité double de celle que demande l'équilibre, ſeroit d'un peu plus de 11 pieds 2 pouces; ce qui donneroit plus de 201 pieds quarrés pour la ſurface du profil. D'où l'on voit que les deux ſurfaces des deux profils ſont entr'elles à peu près comme les nombres 4 & 5, & que par conſéquent dans le premier cas on épargne environ $\frac{1}{5}$ ſur les matériaux.

XIV.

Les calculs précédens ne laiſſent aucun doute ſur l'avantage qu'il y a à donner beaucoup de talut aux paremens des digues. Reſte à ſavoir juſqu'à quel point la pratique peut s'accorder à cet égard avec la théorie.

L'uſage pour les paremens en maçonnerie (car c'eſt de ceux-là qu'il s'agit ici), eſt de leur donner pour talut le ſixieme de leur hauteur. Les murs en aîle des ponts ſont cependant une preuve qu'on peut faire des taluts beaucoup moins roides, puiſque celui

de leur deſſus eſt communément d'une fois & demie la hauteur de ces murs. On remédie au trop de maigreur qu'un grand talut donne à l'angle formé par le parement des pierres & leur lit inférieur, en taillant ces pierres comme la figure 6 l'indique, ou ce qui eſt encore mieux, en les encaſtrant comme il eſt exprimé dans la figure 7. Il en réſulte à la vérité un très-grand déchet de pierres. C'eſt pour éviter ce déchet & pour ſe procurer en même tems le plus de ſolidité qui provient d'un grand talut, qu'on fait quelque fois des revêtemens en pierres de taille, dont les joints ſont à l'équerre ſur le talut du parement. Il n'y a d'inconvénient à cette eſpece de conſtruction, ſi avantageuſe du côté de l'économie, que dans le cas où la pierre ſeroit ſpongieuſe & ſur-tout feuilletée; car l'eau s'inſinue & coule beaucoup plus facilement entre les lames du feuilletis ainſi deverſées en arriere, que ſi elles étoient poſées horizontalement. FIG. 6 & 7.

§. II. *Figure & dimenſions de la Digue, dans la ſeconde hypotheſe.*

X V.

Dans cette hypotheſe, comme dans la premiere, la digue eſt cenſée arrêtée fixement par ſon pied, de maniere qu'elle ne puiſſe pas gliſſer : mais ici elle eſt compoſée de tranches horizontales ſuivant leſquelles elle peut ſe diviſer; & il s'agit de courber le parement d'amont de maniere que les différentes tranches réſiſtent également aux différentes forces qui tendent à les emporter. Nous ſuppoſons, pour écarter tout ce qui eſt étranger à la queſtion, que le parement d'aval ſoit à-plomb, & que la hauteur des eaux s'éleve à la hauteur de la digue.

Soient donc HFT le profil de la digue propoſée; HK le niveau des eaux; HF la courbe cherchée qui doit former le parement d'amont; la verticale HT le parement d'aval; MN*nm* une tranche horizontale infiniment mince & indéterminée, ſuivant laquelle la digue tend à ſe rompre en vertu de l'effort des eaux ſur HM. FIG. 8.

Cela poſé, il eſt clair que lorſque la digue ſe rompt en effet, ſuivant MN, la partie ſupérieure HMN ſe détache de l'inférieure MNTF en allant de M vers N, & qu'à l'inſtant de la rupture il ſe fait autour du point N un petit mouvement de rotation. Il faut donc trouver les forces qui agiſſent ſur la tranche MN*nm* & les

mettre en équilibre autour du point N regardé comme l'appui d'un levier MN *nm*. Or ces forces ſont,

1°. La pouſſée horizontale de l'eau.

2°. La pouſſée verticale de l'eau.

3°. Le poids de la partie HMN de la digue.

4°. L'adherence des deux ſurfaces MN, *mn*, laquelle naît de l'engrenement de leurs parties. Cette force eſt analogue à la réſiſtance qu'une poutre, fixée dans un mur & preſſée par un poids, oppoſe à ſa rupture ; mais il faut bien remarquer qu'entre ces deux ſortes de forces il y a cette différence que les fibres d'une poutre ſont flexibles & extenſibles, ce qui fait qu'elle ne réſiſte pas également dans toute la ſection ſuivant laquelle elle ſe rompt, au lieu que l'adhérence des deux ſurfaces MN, *mn* de la digue étant produite par l'engrenement de parties dures & denuées de tout reſſort, doit être la même dans toute la longueur MN.

Des quatre forces dont nous venons de parler, il eſt évident que la premiere eſt la ſeule qui tende à renverſer la partie HMN ſur le point N, & qu'elle eſt contrebalancée par les trois autres. Cherchons donc les momens de toutes ces forces par rapport au point N. Or

Si l'on ſuppoſe
- HP ou NM . . . . . $= x$
- PM . . . . . $= y$
- La peſanteur ſpécifique de l'eau . . . . . $= p$
- La peſanteur ſpécifique de la digue . . . . . $= n$

1°. Le moment de la pouſſée horizontale de l'eau ſera $\frac{py^3}{6}$.

2°. Le moment de la pouſſée verticale ſera $\int pxydx$.

3°. Le moment de la partie HMN de la digue ſera $\int \frac{\pi xxdy}{2}$.

4°. La force d'adhérence étant la même dans tous les points de la droite MN, comme nous l'avons remarqué, il eſt viſible que ſon moment, par rapport au point N, ſera proportionnel à $x \times \frac{x}{2}$: ſuppoſant donc que ſous une longueur donnée h, la force d'adhérence ſoit égale à un poids comme Q, & obſervant que comme il ne s'agit ici que de profils, ce poids Q peut être converti en une tranche quarrée d'eau qui ait pour côté la ligne connue K, le moment de la force propoſée ſera $\frac{pkk}{h} \times \frac{xx}{2}$, moment qui, comme l'on voit, eſt homogene à tous les autres.

Par

Par conſéquent on aura par les loix de l'équilibre . . . . . $\frac{py^3}{6} = \int pxydx + \int \frac{\Pi xxdy}{2} + \frac{pkkxx}{2h}$, équation d'où il faut tiret la relation entre x & y.

XVI.

En différentiant les deux nombres de l'équation, on aura

$$\frac{pyydy}{2} = pxydx + \frac{\Pi xxdy}{2} + \frac{pkkxdx}{h},$$

ou bien, en ſuppoſant pour abréger $\frac{p}{\Pi} = n$, $\frac{pkk}{h\Pi} = N$,

$$\frac{nyydy}{2} = nxydx + \frac{xxdy}{2} + Nxdx;$$

ou bien encore:

$$nyydy = xxdy + (2ny + 2N)xdx.$$

Soit $2ny + 2N = z$, & par conſéquent $dy = \frac{dz}{2n}$, $yy = \left(\frac{z-2N}{2n}\right)^2$: on aura la transformée $\frac{xxdz}{2n} + zxdx = \frac{dz}{2}\left(\frac{z-2N}{2n}\right)^2$,

ou bien $xxdz + 2nzxdx = \frac{dz}{4n}(z-2N)^2$.

L'équation étant ainſi préparée, on voit qu'elle ſeroit intégrable ſi n étoit $= 1$; mais comme n differe de l'unité, il s'agit de trouver une fonction de z qui multipliant toute l'équation, en rende le premier membre intégrable, car il eſt clair que le ſecond le ſera toujours, ſoit algébriquement, ſoit par les quadratures des courbes. Or on découvre par des méthodes connues, ou même par la ſimple habitude du calcul, que la fonction demandée eſt $z^{\frac{1}{n}-1}$; ainſi multipliant tous les termes par $z^{\frac{1}{n}-1}$, on aura

$$xxz^{\frac{1}{n}-1}dz + 2nz^{\frac{1}{n}}xdx = \frac{z^{\frac{1}{n}+1}dz - 4Nz^{\frac{1}{n}}dz + 4N^2z^{\frac{1}{n}-1}dz}{4n},$$

dont l'intégrale eſt $nxxz^{\frac{1}{n}} + A = \frac{z^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{Nz^{\frac{1+n}{n}}}{1+n} + N^2z^{\frac{1}{n}}$; ou bien en chaſſant z, $nxx(2ny+2N)^{\frac{1}{n}} + A = \frac{(2ny+2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)} - \frac{N(2ny+2N)^{\frac{1+n}{n}}}{n+1} + N^2(2ny+2N)^{\frac{1}{n}}$.

La conſtante A ajoutée en intégrant, doit être telle évidemment qu'on ait $y=o$, lorſque $x=o$; car alors le moment de la pouſſée horizontale de l'eau s'évanouit, & par conſéquent les momens des autres forces doivent s'évanouir auſſi.

Or cette ſuppoſition donne $A=\frac{(2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4(1+2n)}-\frac{N(2N)^{\frac{1+n}{n}}}{n+1}+N^2(2N)^{\frac{1}{n}}$. Ainſi l'équation exacte de la courbe cherchée ſera

$$nxx(2ny+2N)^{\frac{1}{n}}+\frac{(2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4.(1+2n)}-\frac{N.(2N)^{\frac{1+n}{n}}}{1+n}+N^2(2N)^{\frac{1}{n}}=\frac{(2ny+2N)^{\frac{1+2n}{n}}}{4.(1+2n)}-\frac{N(2ny+2N)^{\frac{1+n}{n}}}{1+n}+N^2(2ny+2N)^{\frac{1}{n}}.$$

Cette courbe, quoique d'un genre aſſez élevé, eſt très-facile à décrire, puiſque les indéterminées x & y ſe ſéparent d'elles-mêmes, & que pour avoir x en y, on n'aura à réſoudre qu'une ſimple équation du ſecond degré qui manque même de ſecond terme. Le nombre conſtant n eſt le rapport connu des peſanteurs ſpécifiques de l'eau & de la digue. A l'égard de N, ſa valeur doit être déterminée par l'expérience.

XVII.

Nous avons cru qu'on verroit avec plaiſir la ſolution générale de ce problême; mais ſi on néglige la force d'adhérence qui ne fait d'ailleurs que concourir à la ſolidité de la digue, l'équation ſe ſimplifiera extrêmement, car alors $N=O$, & l'on a par conſéquent $nxx(2ny)^{\frac{1}{n}}=\frac{(2ny)^{\frac{1+2n}{n}}}{4.(1+2n)}$ . . . . . :

d'où l'on tire aiſément $x=y\sqrt{\frac{n}{1+2n}}$.

Cette équation fait voir que le parement d'amont HF eſt une ligne droite inclinée ſur ſa baſe FT, de maniere qu'on a

$FT:HT::\sqrt{\frac{n}{1+2n}}:1$.

Dans les digues en terre pour leſquelles cette formule convient principalement, comme nous l'avons dit, les peſanteurs ſpécifiques p & n ſont pour l'ordinaire entr'elles à peu près comme les nombres 7 & 10, enſorte qu'on a ici $n=\frac{7}{10}$: donc la valeur du radical $\sqrt{\frac{n}{1+2n}}$ eſt à très-peu près $\frac{13}{24}$; donc $FT:HT::13:24$

à peu près. D'où l'on voit que, ſuivant la théorie, le profil d'une digue en terre doit être un triangle rectangle dont la baſe ait les $\frac{13}{14}$ de ſa hauteur. C'eſt ſur quoi nous obſerverons deux choſes relativement à la pratique.

1°. Qu'un talut de moitié de la hauteur, qui ne ſuffiroit pas pour des terres abandonnées à elles-mêmes, conviendra parfaitement lorſque ce talut ſera blocaillé d'après ce que nous avons dit (Art. VII). Il n'y auroit même aucun inconvénient à l'augmenter davantage, ſi on le jugeoit à propos. Ainſi la théorie & la pratique peuvent s'accorder parfaitement enſemble.

2°. Il eſt impoſſible que le parement de derriere de la digue ſe ſoutienne à-plomb, comme nous l'avons ſuppoſé dans la ſolution du problême, & il faut, ſi on ne le blocaille pas comme celui de devant, lui donner un talut qui varie, ſuivant le degré de fluidité des terres, entre 1 fois $\frac{1}{2}$ & 2 fois leur hauteur.

Comme il ne ſuffit pas de proportionner l'épaiſſeur à la preſſion & qu'il faut encore ſe garantir des filtrations, & comme il ne convient pas d'ailleurs de terminer une digue par une crête aiguë qui ne pourroit pas ſe ſoutenir long-temps, on ne peut ſe diſpenſer de donner à la digue, à ſon ſommet, au moins deux pieds de largeur. Ce plus d'épaiſſeur & le talut du parement de derriere produiront enſemble l'excédent de réſiſtance que la digue doit avoir ſur l'effort qu'elle a à ſoutenir. On voit par là combien les chauſſées d'étang qu'on a faites juſqu'à préſent, & qui ne ſervent pas en même tems de chemin, ont trop d'épaiſſeur.

XVIII.

On obſervera, en finiſſant ce chapitre, que les chauſſées étant ordinairement chargées d'une plus grande hauteur d'eau vers le milieu qu'aux extrêmités, l'épaiſſeur, ſuivant la théorie, devroit auſſi être plus grande vers le milieu que vers les extrêmités: mais comme il y a bien des circonſtances où la commodité & l'agrément demandent que les chauſſées ayent une largeur uniforme, il faut pour lors leur donner par-tout la largeur qui a été trouvée pour la partie la plus chargée: l'inconvénient eſt d'autant moins grand, par rapport à la dépenſe, que les remblais ont toujours très-peu de hauteur dans les endroits où le calcul n'exigeroit qu'une très-petite épaiſſeur.

CHAPITRE II.

Des ouvrages qui ſe conſtruiſent le long des rivieres pour en garantir les berges & retenir les eaux dans leur lit.

XIX.

AVANT que de traiter en détail des différentes eſpeces de digues expoſées aux eaux courantes, nous ferons ici quelques obſervations générales ſur les cauſes premieres qui rendent pour le moins inutiles, la plûpart des ouvrages de ce genre qu'on conſtruit tous les jours à grands frais.

Tout eſt lié dans la nature, & ce qui eſt regardé comme la cauſe d'une choſe, n'eſt que l'effet d'une autre cauſe qui a auſſi la ſienne. Cette dépendance ſe fait principalement remarquer dans les effets que les eaux d'une riviere produiſent ſur les bords & ſur le fond de ſon lit. C'eſt toujours l'eau réfléchie qui agit, & il n'y a pas d'anſe ou d'attériſſement qui n'ait ſa premiere cauſe dans une anſe ou un attériſſement ſupérieur, & toujours ainſi en remontant juſqu'au premier grain de ſable qui ſe rencontre ſur le chemin de l'eau à la ſortie de la ſource. On ne doit pas même négliger l'examen de la partie inférieure du fleuve : il s'y trouve ſouvent des obſtacles qui, ſans contribuer auſſi directement & auſſi puiſſamment que les cauſes ſupérieures à l'incident auquel on veut remédier, y ont cependant une très-grande part.

Il ne faut pas croire pour cela qu'on ne puiſſe faire le moindre ouvrage ſur le bord d'un fleuve, ſans avoir remonté juſqu'à ſa ſource & à celles de toutes les rivieres & de tous les ruiſſeaux qui s'y jettent : la nature & même les ouvrages d'art donnent ſouvent des points de repos auxquels on doit s'arrêter. Il ſeroit, par exemple, inutile de monter au-delà d'un canal formé par des rochers entre leſquels on eſt aſſuré que les eaux coulent uniformément depuis pluſieurs ſiecles. Les murs de quai dont on revêtit les bords des rivieres qui traverſent les grandes villes, & tous les autres ouvrages qui déterminent invariablement la direction des eaux à leur ſortie, ſont encore des points qui exemptent de pouſſer plus loin ſes recherches. On doit ſeulement s'informer à ceux qui ſont chargés de la direction de ces ouvrages ſupérieurs, s'ils n'y ont pas projetté des changemens qui, quoique légers en apparence, pourroient quelquefois rendre inutile tout ce qu'on conſtruiroit au-deſſous.

Ces conſidérations prouvent ſuffiſamment combien il eſt de l'intérêt de ceux qui ont à ſe défendre des eaux, de ne pas s'en rapporter à des Praticiens bornés qui ne portent pas la vue au-delà de l'endroit ſur lequel on les conſulte. Mais l'objet eſt encore d'une bien autre importance pour l'Etat, parce que tous ces ouvrages qui n'ont aucune liaiſon, ni aucun rapport les uns avec les autres, deviennent preſque toujours autant d'obſtacles à une navigation qui porteroit l'abondance dans tout le Royaume, & une nouvelle vie dans des Provinces entieres qui languiſſent faute de commerce.

SECTION I. *Des Murs de Quai.*

XX.

Il eſt certain qu'un bon mur de quai eſt l'obſtacle le plus puiſſant qu'il y ait à oppoſer à la fureur des eaux, & que la meilleure maniere de fixer le lit d'un fleuve, eſt de l'enfermer entre deux de ces murs conſtruits en bonne maçonnerie, revêtus en pierres de taille, établis ſolidement ſur le ferme ou ſur pilotis, & élevés au deſſus des plus grandes crues.

La direction des murs de quai dépend ſouvent des circonſtances locales, comme de la largeur des rues & de l'étendue des places qu'on veut conſerver ou former au derriere, quelquefois même de la connoiſſance qu'on a du fonds du fleuve, car il y a ſouvent des langues de terrein ferme ſur leſquelles on peut fonder beaucoup plus ſolidement & à bien moins de frais que ſur d'autres très-mouvantes qui n'en ſont pas pour cela fort éloignées. Mais toutes choſes égales d'ailleurs, on doit, autant qu'on le peut, placer les murs de quai parallelement au fil de l'eau, parce qu'alors ils n'ont rien à ſouffrir de la part du choc de l'eau.

XXI.

La diſtance entre ces murs, c'eſt-à-dire la largeur du lit, doit être telle que dans les grandes crues, il n'en réſulte aucun retardement qui faſſe gonfler les eaux, & pour cela il faut tenir le débouché au moins auſſi grand que celui des ponts au deſſous, afin que les eaux s'écoulant auſſi promptement qu'il eſt poſſible, ne refluent pas ſur les quais & dans les rues par les ports & par les ouvertures qu'on fait aux murs de quai pour le paſſage des eaux étrangeres qui viennent ſe jetter dans la riviere.

Quelquefois les rivieres qui traverſent les villes s'y partagent en

pluſieurs bras, dont l'un plus profond que les autres ſert à la navigation lors des baſſes eaux, pendant que ces derniers ſont preſqu'à ſec. Mais s'il n'y avoit qu'un bras, & que l'eau, lorſqu'elle eſt baſſe, ne s'y trouvât pas aſſez profonde pour être navigable, il
Fig. 10. conviendroit de la reſſerrer par un faux mur de quai FAD. Dans e cas où le maſſif FADE deviendroit ſi conſidérable qu'il intercepteroit le paſſage à une trop grande quantité d'eau lors des crues, on peut faire un ſecond canal FELI, & ſe conrenter d'une digue LIAD. Cette eſpece de digue rentre dans la claſſe des jettées dont nous traiterons dans le troiſieme Chapitre.

XXII.

Lorſqu'un mur de quai, ou en général tout ouvrage conſtruit ſur une eau courante, a ſon parement parallele au fil de l'eau, il ne ſouffre rien de ſon choc, comme nous l'avons déja dit, & il n'éprouve de plus que les chauſſées d'étang, qu'un nouveau frottement occaſionné par le mouvement de tranſlation des eaux: mais lorſque le parement eſt expoſé au courant, il ſouffre encore de plus le choc de ce courant. Toutes ces cauſes de deſtruction exigent qu'on donne aux ouvrages de ce genre plus de ſolidité qu'aux chauſſées d'étang. Nous en preſcrirons les moyens, lorſque nous aurons déterminé l'épaiſſeur que doivent avoir les murs de quai, en ayant égard rout à la fois à la preſſion, & au choc des eaux; & comme on ſait déja faire entrer dans le calcul la preſſion des eaux, il ne reſte plus qu'à expliquer ce qui regarde le choc.

XXIII.

Nous ſuppoſerons que toutes les molécules de l'eau ſe meuvent ſuivant des directions paralleles entr'elles, & avec la même viteſſe. Ces deux hypotheſes ne ſont pas vraies en rigueur; mais elles peuvent être admiſes ſans craindre aucune erreur ſenſible dans la pratique.

Fig. 11. Soient CDFH la face du mur qui rencontre le lit de la riviere ſuivant DF, & qui eſt frappée par l'eau ſuivant la direction oblique RB; HFES la coupe verticale du mur élevée ſur l'horizontale FE perpendiculaire à l'horizontale DF. Suppoſons que la hauteur des eaux, dans le tems des grandes crues, s'éleve à la hauteur entiere HT du mur, & que les deux paremens HF, SE ayent le même talut.

Cela poſé, il eſt démontré que lorſqu'un fluide frappe oblique-

ment un plan, l'impulſion qui en réſulte perpendiculairement contre ce plan, eſt en raiſon compoſée du plan, du quarré de la vîteſſe du fluide, & du quarré du ſinus de l'angle d'incidence du même fluide ſur le plan. Or ſi d'un point quelconque R du filet RB, on abaiſſe ſur le plan CDFH la perpendiculaire RX, & qu'on mene dans le même plan la droite XB qui rencontre RB au point B, il eſt viſible que prenant le ſinus total pour l'unité, le ſinus de l'angle d'incidence du fluide ſur la face du mur, ſera exprimé par $\frac{RX}{RB}$; donc en nommant V la vîteſſe de l'eau, le choc perpendiculaire contre FH ſera proportionnel à $FH \times V^2 \times \frac{\overline{RX}^2}{\overline{RB}^2}$.

Soit mené, ſuivant la direction du filet RB qu'on peut regarder comme horizontal, un plan horizontal qui rencontre la face du mur ſuivant l'horizontale AB, & par la droite RX ſoit mené un plan LKM*m*, auquel la droite AB ſoit perpendiculaire, & qui rencontre le plan horizontal paſſant par RB & par AB, ſuivant RO, & la face du mur ſuivant OX. Il eſt clair que l'angle ROX eſt égal à l'angle HFT du talut du parement d'amont, puiſque les droites RO, XO ſont évidemment perpendiculaires au même point O de l'horizontale AB. Or on a $RX = RO \times \textit{ſin.}\ ROX = RO \times \textit{ſin.}\ HFT$, & $RB = \frac{RO}{\textit{ſinus}\ RBO}$; donc $\frac{RX}{RB} = \textit{ſin.}\ HFT \times \textit{ſin.}\ RBO$; donc le choc contre HF ſera encore proportionnel à . . . $FH \times V^2 \times (\textit{ſin.}\ HFT)^2 \times (\textit{ſin.}\ RBO)^2$.

Soient
- La verticale HT *ou* SQ . . . . . $= a$
- FT . . . . . $= f$
- EQ . . . . . $= g$
- FH . . . . . $= \sqrt{aa \times ff} = c$
- Le ſinus total . . . . . $= i$
- Le ſinus de l'angle HFT . . . . . $= \frac{a}{c} = q$
- Le ſinus de l'angle RBA . . . . . $= r$
- L'épaiſſeur FE du mur à ſon pied . . . . . $= z$
- La peſanteur ſpécifique de l'eau . . . . . $= p$
- La peſanteur ſpécifique du mur . . . . . $= n$

Suppoſons de plus que ſous une vîteſſe donée *v*, l'impulſion *directe* de l'eau contre une ligne donnée K ſoit égale à un poids connu Q : l'impulſion qui réſulte perpendiculairement contre FH ſera $= \frac{Qcv^2q^2r^2}{Kv^2}$.

Comme tous les points de la droite HF ſouffrent des chocs égaux, la force $\frac{Qcv^2q^2r^2}{Kv^2}$ doit être imaginée réunie au point P, milieu de HF. Qu'on prenne PV perpendiculaire à HF pour repréſenter cette force, & qu'on la décompoſe en deux autres PN, PZ, l'une horizontale, l'autre verticale; la premiere ſera $= \frac{Qcv^2q^2r^2}{Kv^2} \times \frac{a}{c} = \frac{Qav^2q^2r^2}{Kv^2}$; la ſeconde $= \frac{Qcv^2q^2r^2}{Kv^2} \times \frac{f}{c} = \frac{Qfv^2q^2r^2}{Kv^2}$. Il évident que la force PN tendra, ainſi que la pouſſée horizontale de l'eau qui naît de la preſſion, à renverſer le mur ſur le point E, & que la force PZ tendra, ainſi que le poids du mur & la pouſſée verticale de l'eau qui naît de la preſſion, à affermir le même mur ſur ſon pied FE. Or on a trouvé (Art. XII), que le moment de la pouſſée horizontale de l'eau par rapport au point E $= \frac{pa^3}{6}$; que le moment de la pouſſée verticale $= \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6}$; qu'enfin le momenr du poids du mur $=$ (à cauſe qu'on a ici $b=a, r=f$) $\frac{\pi azz}{2} - \frac{\pi afz}{2} + \frac{\pi aff}{6} - \frac{\pi agg}{6}$.

Par conſéquenr, en ſuppoſant que le mur doive avoir une ſtabilité mulriple du nombre m de fois de la ſtabilité que demanderoit le ſimple équilibre, & ayant égard aux bras du levier des forces PN, PZ, on aura l'équation

(E) $\frac{mpa^3}{6} + \frac{mqa^2v^2q^2r^2}{2Kv^2} = \frac{pfza}{2} - \frac{pffa}{6} + \frac{\pi azz}{2} - \frac{\pi afz}{2} + \frac{\pi aff}{6} - \frac{\pi agg}{6} + \frac{Qfv^2q^2r^2}{Kv^2} \times \left(z - \frac{f}{2}\right)$, par le moyen de laquelle on déterminera l'inconnue z.

XXIV.

Appliquons cette formule à un exemple. Suppoſons la hauteur HT ou SQ $=$ 18 pieds, chacun des talurs FT & QE $=$ 3 pieds, l'angle ROB (que fait la direction du courant avec le mur, meſuré horizontalement) $= 45°$; la vîreſſe de l'eau de 4 pieds par ſeconde; & comme ci-deſſus, la peſanteur ſpécifique de l'eau $=7$, tandis que celle du mur $=$ 12.

Nous prenons pour principe d'expérience que l'impulſion directe de l'eau ordinaire de riviere peſant 70 livres le pied cube, & mue avec une vîreſſe d'un pied par ſeconde, contre un plan d'un pied quarré en ſurface, eſt égale à un poids d'une livre trois onces, ou de $\frac{19}{16}$ onces. Soit converti le poids Q (qui n'eſt qu'une tranche, parce qu'il ne s'agit ici que de profils), en un rectangle d'eau

d'eau qui ait un pied de baſe, & par conſéquent pour hauteur $\frac{\frac{19}{16}}{70}$ pied : on aura $Q = p \times 1$ pied $\times \frac{19}{16 \times 70}$ pieds, $K = 1$ pied.

Sur toutes ces conſidérations, on aura $a = 18$ pieds, $f = g = 3$ pieds, $p = 7$, $n = 12$, $\frac{V^2}{v^2} = 16$, $\frac{QV^2}{Kv^2} = p \times \frac{19}{16 \times 70} \times 16$ pieds $= \frac{7 \times 19}{70}$ pieds, $q^2 = \frac{36}{37}$, $r^2 = \frac{1}{2}$.

Subſtituant toutes ces valeurs dans la formule (E), & ſuppoſant que la ſtabilité doive être double de celle que demanderoit l'équilibre, on trouvera que l'inconnue z eſt d'un peu plus de 12 pieds.

On a trouvé (Art. XIII), en n'ayant égard qu'à la ſimple preſſion, que l'épaiſſeur z étoit un peu au deſſous de 12 pieds ; ainſi dans l'hypotheſe préſente, le choc n'ajoute que très-peu de choſe à l'épaiſſeur que demanderoit la ſimple preſſion. Cela ne doit point ſurprendre. Le talut fait que le choc eſt employé en partie à affermir le mur ſur ſon pied. Il peut même ſe faire que dans le cas du choc & de la preſſion, il faille moins d'épaiſſeur que dans le cas de la ſimple preſſion, comme il eſt évident à la ſeule inſpection de la formule (E).

XXV.

La preſſion & le choc des eaux ne ſont pas les ſeuls efforts que les murs de quai ayent à ſoutenir : ils ſont encore preſſés, en un ſens contraire, par les terres contiguës à leur parement intérieur. C'eſt pourquoi il eſt eſſentiel de calculer auſſi leur épaiſſeur relativement à cette derniere force, & de proportionner cette épaiſſeur à la plus puiſſante des deux cauſes oppoſées qui tendent à les renverſer. Nous diſons *la plus puiſſante*, car il ne ſuffiroit pas de déterminer cette épaiſſeur relativement à l'excès de la plus grande ſur la plus petite, tant parce que les terres ne joignent pas toujours exactement le derriere des revêtemens, que parce que lorſqu'elles y ſont toujours contiguës, c'eſt une force qui agit continuellement, au lieu qu'il y a bien des ſaiſons où l'eau ne vient qu'au pied du mur, & où par conſéquent la pouſſée des terres a tout ſon effet ſans éprouver aucune réaction de la part de l'eau.

XXVI.

Quoique nous ayons ſuppoſé dans le problême de l'article XXIV, que le profil du mur étoit le même ſur toute ſa longueur,

rien ne ſera ſi facile que d'appliquer la ſolution aux murs qui ont des contre-forts

Nous obſerverons, par rapport à la figure de ces contre-forts, qu'ils doivent être rectangulaires, comme EFGH, dans le cas où il y auroit égalité parfaite entre la pouſſée des terres & celle de l'eau ; que dans celui où la pouſſée de l'eau excéderoit celle des terres, il faut les faire en trapezes ILMN, ſuivant l'uſage ordinaire ; & qu'enfin dans le cas où la pouſſée des terres excéderoit celle de l'eau, il faudroit les faire en queue d'aronde, comme OPQR. Cette derniere forme eſt celle qui convient aux contre-forts des murs de terraſſe. L'uſage contraire eſt vicieux : car il eſt évident qu'un mur acquiert plus de ſtabilité à meſure que ſon centre de gravité s'éloigne du point ſur lequel il faudroit qu'il tournât pour être renverſé. Quant à la diſtance qu'il doit y avoir entre les contre-forts, & au rapport de leurs dimenſions à celles du mur, nous penſons qu'il faut les faire ſaillir en dehors du mur de toute l'épaiſſeur de ce mur à ſa baſe, donner cette même épaiſſeur entiere au collet OR de la queue d'aronde, le double à ſa grande face PQ, & les eſpacer au collet de maniere qu'il y ait entr'eux deux fois la largeur de ce collet.

Fig. 12.

L'avantage des contre-forts eſt fondé ſur ce que les terres ne preſſent pas ſuivant les mêmes loix que les fluides, & ſur l'hypotheſe que les matériaux, dont le mur eſt compoſé, ſont aſſez bien liés entr'eux, pour qu'il ne puiſſe pas ſe rompre entre deux contre-forts voiſins. Ceci nous conduit naturellement à l'expoſition des différentes manieres de conſtruire les murs de quai relativement à la fatigue qu'ils doivent éprouver, & à la qualité du terrein ſur lequel on eſt obligé de les établir.

XXVII.

La figure 13 repréſente le plan & le profil d'un mur de quai fondé ſur le roc avec une crêche ou ris-berme AB en pierres de taille, ce qui eſt la meilleure conſtruction, lorſque ces ris-bermes doivent être alternativement expoſées à l'eau & à l'air. Le profil fait voir comment l'aſſiſe inférieure du parement doit être encaſtrée dans les dalles de la ris-berme, & l'on voit ſur le plan que ces dalles ont leurs joints taillés en queue d'aronde.

La figure 14 repréſente encore le plan & la coupe de la partie inférieure d'un mur de quai, mais avec une ris-berme de charpente ſur pilotis & avec palplanches. On emploie cette conſtruction dans les terreins d'une conſiſtence médiocre. Le linteau

A eſt fort utile: outre qu'il fixe & retient la queue des madriers, il prévient les dégradations que les Mariniers font ordinairement au pied des murs avec leurs crocs & ferets.

Quand le fond, ſans être de roc, a cependant une certaine ſolidité, on peut ſe contenter d'un ſeul rang de pilots, comme dans la figure 15, où la ris-berme n'eſt d'ailleurs que pavée à ſec; car le pavé en ciment revenant ſouvent preſqu'auſſi cher que des dalles en pierres de taille, cette derniere conſtruction doit communément être préférée lorſqu'on veut faire la dépenſe du ciment. FIG. 15.

Si le fond étoit tout à fait mauvais, il faudroit multiplier les pilots & en mettre ſous tout le mur. On les met quelquefois même tant plein que vuide, & on prétend ſouvent par ce moyen pouvoir ſe paſſer du bordage de palplanches. Ce bordage eſt cependant le meilleur & même le ſeul moyen de garantir une fondation des affouillemens. Pour le rendre plus ſolide, on taille les joints des palplanches de maniere qu'elles s'encaſtrent l'une dans l'autre (fig. 16): ce qui eſt une très-grande ſujétion, & ſuppoſe d'ailleurs, pour réuſſir parfaitement, un terrein bien doux. On redouble auſſi quelquefois ce bordage, & dans ce cas il faut avoir attention, comme on le voit (fig. 17), de mettre toujours plein ſur joint.

XXVIII.

Dans les pays où la pierre eſt rare & le bois commun, il eſt d'uſage de revêtir les quais entierement en charpente. Comme on trouve dans les Livres d'Architecture Hydraulique différentes manieres d'aſſembler cette charpente, nous nous contenterons d'indiquer par un plan & un profil (fig. 18), la conſtruction la plus ordinaire de ces ſortes de quais, & nous nous bornerons à deux remarques.

La premiere, c'eſt que les pieces de bois dont les extrêmités s'aſſemblent à tenon, ſont ſujettes, lorſqu'elles ſont fortement preſſées par l'eau ou par toute autre cauſe, à ſe fendre ſur leur épaiſſeur, ainſi que les lignes *a b* l'indiquent dans la fig. 19. On ne peut prévenir cet incident qu'en embraſſant chacune des extrêmités de ces pieces avec une frete de fer *c d* (fig. 20).

La ſeconde remarque eſt, qu'on ne doit pas, par une économie mal entendue, ſe diſpenſer de peindre ou gaudronner les bois qui ſont alternativement expoſés à l'air & à l'eau. Il ne faut pas non plus négliger de mettre dans les enduits des drogues & matieres propres à éloigner ou détruire les différentes eſpeces de vers qui

s'attachent au bois, ſuivant ſa nature & le climat. Il eſt auſſi très-bon d'enduire les tenons & même l'intérieur des mortaiſes; mais tout bois qu'on deſtine ainſi à être enduit à ſa ſurface, doit être bien ſec avant cette opération, ſans quoi il s'échaufferoit & ſe pourriroit intérieurement, & l'on s'expoſeroit à voir manquer tout-à-coup un ouvrage qui avoit l'apparence de la plus grande ſolidité.

SECTION II. *Des Turcies & Levées.*

XXIX.

On comprend communément ſous ce nom les ouvrages qui ſe font le long de l'*Allier*, du *Cher*, & de la *Loire*, pour préſerver de l'inondation les riches campagnes ſituées ſur les bords de ces rivieres.

On ſent que des murs de quai rempliroient parfaitement cet objet; auſſi y en conſtruit-on beaucoup. Mais on ne peut qu'applaudir aux vues d'économie qui ont fait chercher à y ſuppléer par différentes eſpeces d'ouvrages tous relatifs à la différente fatigue qu'ils doivent eſſuyer, & à d'autres circonſtances locales. On ſe contente donc fort ſouvent de levées en terre bien battue lit par lit, gazonnées du côté de la campagne, & revêtues du côté de l'eau par des glacis en pierres d'échantillon (fig. 21), ou par de ſimples perés en blocaille (fig. 22). Comme les blocaillemens ainſi expoſés à l'eau courante, ſont plus fatigués que ceux des chauſſées d'étang, on leur donne plus de talut, & on les fortifie par des chaînes AB qu'on conſtruit avec le plus beau moilon dont on fait auſſi l'aſſiſe inférieure AA, & la ſupérieure BB.

Souvent auſſi on garantit le pied des terres par un rang de pilots (fig. 23), ce qu'on appelle *peré* avec *battis*, ou par une crêche (fig. 24). On voit que les crêches ſont aſſez communément des ouvrages faits après coup contre le pied d'un mur de quai, d'un glacis, ou d'un peré; car dans un ouvrage qu'on feroit entierement à neuf, une ris-berme liée avec le mur ou avec le revêtement eſt toujours préférable à une crêche qui ne ſeroit que plaquée.

XXX.

Lorſque la riviere, dont on veut contenir les eaux dans leur lit par des levées, reçoit quelque autre riviere ou quelque ruiſſeau, on pratique dans ces levées des ponts ou des aqueducs d'une ouverture proportionnée au courant qui y doit paſſer. Mais pour

empêcher que lors des crues, les eaux de la principale riviere ne refluent dans les campagnes par ces ouvertures, il faut y placer des portes buſquées que le gonflement des eaux de la même riviere retient fermées, juſqu'à ce que les eaux affluentes devenues ſupérieures, les faſſent ouvrir par leur propre poids.

Dans le cas où les crues d'été, dont on veut ſe préſerver, ſeroient conſtamment moins hautes que les grandes eaux d'hiver, qui peuvent fertiliſer les campagnes par les dépôts qu'elles y laiſſent, on peut couper les levées par des reverſoirs, dont la ſurface ſupérieure ſoit au deſſus des crues d'été, mais au deſſous de celles d'hiver, ce qui diminuera la hauteur des eaux que les digues auront à ſoutenir dans cette derniere ſaiſon. Mais la conſtruction de ces reverſoirs demande la plus grande attention; lorſque leur hauteur eſt conſidérable, & ſur-tout lorſqu'on néglige d'en entretenir les jouées, il peut en réſulter des accidens ſans nombre.

SECTION III. *Des Revêtemens en faſcinage.*

XXXI.

Les revêtemens en faſcinage qu'on conſtruit le long d'une berge, & auxquels on donne quelquefois improprement le nom d'*epis*, trouvent ici naturellement leur place.

Tout ce que nous avons dit ſur l'emplacement & la direction des murs de quai, s'applique aux revêtemens en faſcinage. Quant à l'épaiſſeur de ces revêtemens, comme ils ne ſont faits que pour garantir & non pour ſoutenir les berges, & qu'ils tirent leur force de leur contexture bien plus que de leur peſanteur, c'eſt un objet entierement étranger au calcul. Cette épaiſſeur eſt ordinairement de 9 pieds par le haut, & dépend pour le ſurplus du talut qu'on veut donner au parement extérieur. L'uſage eſt de donner à ce talut entre une fois & une fois & demie ſa hauteur.

On trouve dans l'Architecture Hydraulique de M. *Belidor*, le détail de la conſtruction intérieure de ces ſortes d'ouvrages. Ainſi nous nous contenterons d'obſerver en général, qu'on les affermit par des enracinemens en culées A, & par d'autres en contre-forts B (fig. 25); que les faſcines de leurs fondations CC (fig. 26, 27 & 28) doivent être placées parallélement au parement, celles des tunes DD à l'équerre ſur les premieres, & enfin que le gravier, dont on recouvre chaque tune, doit être retenu par des clayons entrelacés autour de forts piquets qu'on enfonce aſſez avant pour qu'ils traverſent au moins deux faſcines. FIG. 25, 26, 27 & 28.

Fig. 29. Nous ajouterons que dans le cas où un bâtiment B (fig. 29), placé à la tête d'une isle, empêcheroit d'y faire l'enracinement par lequel il faut toujours commencer un revêtement en fascinage, & forceroit de le conduire contre l'eau, il paroît indispensable de battre une file de pieux DDD sur la ligne du parement de la fondation avant que de la lancer à l'eau. Cette file de pieux seroit très-utile, même dans les cas ordinaires, parce qu'en la couronnant d'un chapeau, on pourroit, à l'aide de quelques pieces de bois appuyées par un bout sur ce chapeau & par l'autre dans la berge, soutenir à flot le bout de la fondation autant de tems qu'on le jugeroit nécessaire ; car on sait qu'on ne peut procurer à ces sortes d'ouvrages la bonne liaison qui leur est si essentielle, qu'en se rendant maître des fondations & des premieres tunes, de maniere qu'elles ne s'enfoncent que successivement & à mesure qu'elles se perfectionnent.

XXXII.

Lorsque le lit du fleuve, à l'endroit qu'on veut revêtir en fascinage, est beaucoup plus bas que le fond des excavations destinées à recevoir les enracinemens, il est impossible qu'il ne reste pas du vuide sous la partie du fascinage que l'on plie pour le faire convenir à ces deux différentes profondeurs. Cet inconvénient mérite que nous proposions un moyen d'y remédier. Ce moyen consisteroit à draguer le fond du fleuve bien de niveau dans cette
Fig. 30. partie, & à y faire échouer une givée ABCD, de maniere que son dessus affleure le fond des excavations AEHI, FNLD destinées à recevoir les enracinemens. On fixeroit ensuite cette givée sur le fond du fleuve, en la lardant de pilots battus au refus, après quoi on feroit le fascinage à l'ordinaire, mais avec beaucoup plus de facilité, parce qu'il se conduira toujours de niveau. Ce sera d'ailleurs une bonne précaution d'en affermir les extrêmités par des attérissemens que deux petits épis M & O placés, l'un à l'amont, l'autre à l'aval, ne peuvent manquer d'y former. Un plus grand détail nous écarteroit trop de notre sujet. C'est aussi pour cette raison que nous ne donnerons que les desseins sans aucune explication d'un petit tunage sans fondation (fig. 31), & d'un simple revêtement en fascinage (fig. 32).

XXXIII.

Nous ne croyons pas devoir quitter les murs de quai, & les autres ouvrages par lesquels on y supplée, sans dire un mot des

moyens encore plus ſimples dont on ſe ſert communément pour empêcher une riviere & un ruiſſeau de ruiner ſes berges. L'uſage le plus général eſt de planter des ſaules nains & des oſiers tout le long, & ſur-tout au pied de la berge qu'on veut conſerver. Ce moyen qui eſt très-avantageux pour celui qui l'employe, eſt très-nuiſible au riverain oppoſé; & lorſque celui-ci prend le même parti, ce qui arrive ſouvent, c'eſt alors le Public qui en ſouffre. Le lit devient ſi étroit, que les héritages ſupérieurs ſont inondés à la moindre crue, & que les eaux s'ouvrent ſouvent un nouveau lit, ce qui eſt la ſource d'une infinité de dégradations & de conteſtations.

Le vrai moyen d'obvier à tous ces inconvéniens ſeroit de fixer une largeur de lit d'après l'inſpection des lieux, & d'après des informations exactes ſur les crues d'eaux, auxquelles la riviere eſt ſujette; de faire mettre enſuite toutes les berges en talut de deux pieds pour pied, & d'obliger tous les riverains à entretenir ces taluts, chacun vis-à-vis ſon héritage. La moindre attention ſuffit pour voir qu'il n'y a rien de ſi facile que de réparer la dégradation H du talut CD, pendant qu'il eſt impoſſible de remédier à la ſappe G qui entraîne néceſſairement, peu de tems après, la chûte de toute la maſſe GAI. Fig. 333

CHAPITRE III.

Des Jettées.

XXXIV.

Les digues maritimes doivent tenir le premier rang parmi celles de cette eſpece; mais l'Académie ayant principalement en vue celles qui ſe conſtruiſent ſur les rivieres, nous nous contenterons de quelques obſervations ſur les premieres.

L'extrême profondeur de la mer, ſes courans, ſon flux & reflux dans les endroits où elle y eſt ſujette, & ſur-tout les gros tems, ſont autant de cauſes qui exigent encore plus de précautions & de ſolidité dans la conſtruction des ouvrages maritimes que dans ceux qui ſe font communément ſur les rivieres. Mais beaucoup de rivieres ſe jettant dans la mer, on ſent qu'il eſt difficile de fixer le point où les ouvrages commencent à être réputés maritimes. Nous ne nous arrêterons pas à une telle re-

cherche. Ces lignes de ſéparation, impoſſibles peut-être à tirer, entre les productions de la nature, ne ſont quelquefois pas plus aiſées à ſaiſir entre les différentes branches des arts. L'inconvénient, s'il y en a, eſt plus que compenſé par la généralité que cet enchaînement donne aux principes. Tout ce que nous avons dit, & tout ce que nous dirons des digues qui ſe font le long & au milieu des rivieres, peut donc facilement s'appliquer aux digues maritimes. On conſtruit en effet celles-ci comme les premieres en bonne maçonnerie, en pierres ſeches & même à pierres perdues, en charpente, en faſcinage, &c. On obſerve ſeulement, lorſqu'on le croit néceſſaire, de les rendre plus ſolides en augmentant leurs dimenſions principales & celles des matériaux dont elles ſont compoſées, & ſur-tout en redoublant les revêtemens de palplanches, comme nous l'avons dit (Art. XXVII), & en encaſtrant les pierres les unes dans les autres, tant pour les joints montans, que pour ceux de lit, comme il eſt marqué (fig. 34, A).

Quelquefois encore, on redouble le parement en pierre de taille (fig. 34, B). Enfin on relie les pierres, comme on le voit dans la même fig. avec des crampons & des goujons de fer ſcellés en ciment ou en plomb. Les fers ſcellés en ciment font quelquefois fendre la pierre en ſe rouillant. On la fend auſſi très-ſouvent en coulant le plomb, lorſqu'elle n'a pas encore jetté toute ſon eau. La bonne qualité de la pierre, la groſſeur des blocs, & la préciſion de l'appareil exemptent dans bien des cas d'avoir recours aux crampons & aux goujons, & on les a ſupprimés pour tous les grands ouvrages qui ont été nouvellement faits dans le département des ponts & chauſſées. Il ne paroît cependant pas qu'on puiſſe les exclure entierement des ouvrages maritimes, principalement de ceux qui ſont alternativement expoſés au flux & au reflux. Comme on ne peut dans ce cas travailler que par intervalles, on eſt obligé, pour ne pas perdre en marée haute ce qu'on a fait en marée baſſe, de donner une ſolidité de détail qui devient ſouvent inutile lorſque l'ouvrage eſt entierement achevé.

Une maniere de bâtir beaucoup plus en uſage dans les ports de mer, & principalement ſur ceux de la Mediterranée, que ſur les rivieres, où l'on s'en ſert cependant quelquefois, eſt la conſtruction par caiſſons ou par *encaiſſement*. Les bornes de ce mémoire ne permettant pas d'entrer dans de grands détails à ce ſujet, nous nous contenterons de dire que cette maniere de bâtir conſiſte à faire échouer préciſément aux endroits où l'on doit établir l'ouvrage, de grandes caiſſes de charpente bien étanches. Cela ſe

fait

fait en y laiſſant entrer l'eau par une vanne pratiquée à cet effet, après quoi on referme cette vanne & on épuiſe l'eau, ce qui donne la facilité de travailler à ſec dans la caiſſe. Quelquefois on n'introduit point l'eau dans le caiſſon pour le faire échouer, & il s'enfonce ſucceſſivement de lui-même à meſure qu'on le remplit de maçonnerie. Il y a eu des ouvrages où les caiſſons ſont reſtés dans l'eau après la conſtruction, mais plus communément on aſſemble les flancs des caiſſons de maniere qu'ils puiſſent ſe démonter après que la maçonnerie eſt achevée, & on les fait ſervir ſucceſſivement à pluſieurs caiſſons. On ſent toutes les précautions & l'intelligence qu'exige un pareil travail, principalement pour relier enſemble la maçonnerie des caiſſons ſucceſſifs, & ſur-tout combien il eſt eſſentiel de ne laiſſer échouer ces caiſſons que ſur un fond dragué bien de niveau, & après en avoir enlevé toutes les boues, vaſes & autres matieres de peu de conſiſtance. Les machines inventées nouvellement pour réceper de niveau les pilots à telle profondeur ſous l'eau, qu'on le juge à propos, donnent un nouveau degré de perfection à la conſtruction par encaiſſement, qui eſt de la plus grande utilité dans les endroits où il ſeroit trop coûteux, ſouvent même impoſſible de conſtruire des batardeaux.

Quant à l'emplacement & à l'alignement des jettées & des moles, on doit principalement avoir égard à l'étendue qu'on veut donner aux ports & aux rades, à la diſtance entre les vives eaux & la caiſſe de la baſſe mer, à la direction des courants, & ſur-tout aux différens rhumbs de vent qui regnent dans les parages où l'on travaille. La profondeur de l'eau & la qualité du ſol ſont encore des objets qui méritent la plus grande attention, & l'on voit facilement que, toutes choſes égales d'ailleurs, il faut choiſir l'endroit le moins profond & le terrein le plus ſolide. Paſſons aux jettées qui ſe conſtruiſent ſur les rivieres.

XXXV.

Le but des jettées qu'on conſtruit ſur les rivieres eſt d'en reſſerrer le lit, quelquefois pour les rendre navigables, mais plus ſouvent pour ménager la dépenſe des eaux & les employer à faire tourner une uſine.

La plus ſimple de ces jettées ſe conſtruit entre deux iſles, telle eſt AB (fig. 35). Le peu de largeur de l'entrée FG du bras FGHI eſt principalement ce qui occaſionne dans le bras DCE, & même au deſſus, le gonflement dont on a beſoin pour l'entretien du moulin C; de ſorte que ſi la berge G étoit tendre & par conſé- Fig. 35.

quent facile à ronger, cette entrée FG s'élargiroit en très-peu de tems, ce qui rendroit la jettée AB entierement inutile.

Les jettées, telles que celle PQ (appellées battes dans quelques provinces), qu'on conſtruit ſur beaucoup de rivieres navigables, ſont ſujettes au même inconvénient; & c'eſt pour y remédier, autant que cela eſt poſſible, que les Meûniers ſont dans l'uſage de les prolonger toujours de plus en plus. Fig. 36.

Quelque défectueuſes que ſoient ces jettées relativement à l'objet qu'on ſe propoſe en les conſtruiſant, & quelque préjudiciables qu'elles ſoient communément à la navigation, comme on en fait cependant beaucoup, & que ce que nous dirons de leur conſtruction peut s'appliquer à d'autres eſpeces de digues, & principalement à celles qui ſe font ſur les ruiſſeaux & ſur les petites rivieres non navigables, nous allons entrer dans quelques détails à ce ſujet.

XXXVI.

La plupart des battes ne ſont compoſées que de deux files de pilots en grume, eſpacés tant plein que vuide. On couronne chaque file d'un chapeau aſſemblé, ou ſeulement chevillé ſur les pilotis; & tout l'eſpace entre les deux files, après avoir été dragué ſur environ un pied de profondeur, eſt rempli en moilons du pays, dont on range les plus gros à la main, joignant les pieux. L'aſſiſe ſupérieure doit auſſi être rangée à la main en forme de pavé, ainſi que l'indique la fig. 37. Quelquefois même on ſupprime les chapeaux ſur les pilots, & on ſe contente de jetter la pierre au haſard ſans la ranger à la main; comme dans ce cas les pilots n'ont guere que 4 à 5 pouces de diametre, on les bat à la mailloche tant plein que vuide. Souvent on y apporte encore moins de précaution; mais ces ſortes de petits ouvrages ne méritent pas la peine que nous nous y arrêtions. Fig. 37.

On pourroit, relativement à ce qui a été dit dans les deux premiers Chapitres, faire les paremens en talut & incliner par conſéquent les deux files de pieux l'une vers l'autre: telles étoient les grandes jettées de Dunkerque; mais pour les jettées & battes ordinaires, on peut s'en tenir à ce que nous venons de preſcrire, ou ſi l'on vouloit plus de ſolidité, à ce qui eſt exprimé par la fig. 38; on y a fait un côté avec pal-planches battues derriere des pieux équarris, & l'autre avec un ſimple vannage appuyé ſur des pilots ronds. Cette derniere conſtruction, qui eſt moins ſolide que l'autre, eſt cependant pour l'ordinaire plus que ſuffiſante. Fig. 38.

Souvent on ſe contente de garnir le derriere des pilots avec des ſauciſſons, des faſcines, & même avec de ſimples clayes.

Les entre-toiſes DC aſſemblées à queue d'aronde dans les chapeaux, ſont préférables aux entre-toiſes à mentonnet EF, tant parce qu'il eſt plus facile de faire arraſer leur deſſus avec celui du pavé, que parce que les mentonnets ſont ſujets à être accrochés par les bateaux, & même à ſe pourrir.

Il ſuffiroit ſans doute de remplir ces battes en bonne terre graſſe, & elles en ſeroient même plus étanches dans les commencemens; mais d'un autre côté elles ſeroient ſujettes par la ſuite à beaucoup plus de réparations: on peut par conſéquent s'en tenir à l'uſage où l'on eſt de les remplir en pierres & gravier.

Le pavé ſupérieur ſe fait ordinairement à ſec, avec des éclats de la même pierre, forcés à coups de maſſe dans les joints, après quoi il eſt bon de remplir les vuides en gravier; mais ſi on faiſoit tout de ſuite ce pavé ſur forme & à joints de ſable, ces joints ne tarderoient pas à ſe dégrader, & le pavé à être emporté. Au reſte l'eau qui paſſe ordinairement ſur ces jettées ne tombant jamais de bien haut d'un côté à l'autre, leur deſſus n'a pas beſoin d'être conſtruit auſſi ſolidement que celui des reverſoirs qui barrent entierement la riviere.

XXXVII.

La réſiſtance des pilots & des planches ou faſcines, dont les paremens des battes ſont compoſés, compenſe & au de-là le peu de liaiſon qu'il y a entre les pierres dont on les remplit ordinairement. On pourra donc ſans inconvénient déterminer leur épaiſſeur, comme ſi elles étoient conſtruites en bonne maçonnerie. Cette détermination ſe fera très-aiſément par les méthodes expliquées dans les deux Chapitres précédens. On obſervera ſeulement ici qu'il ne faut avoir égard qu'à l'excès de l'effort des eaux contre l'une des faces, ſur l'effort exercé contre la face oppoſée. C'eſt ſur quoi il paroît entierement inutile de s'arrêter plus long-tems.

XXXVIII.

La tête P d'une jettée étant toujours la partie la plus fatiguée, on doit la conſtruire plus ſolidement que le reſte, & même la revêtir en pierres de taille. Comme il eſt d'ailleurs très-eſſentiel de ſouſtraire le plus qu'il eſt poſſible cette même tête à l'effort des eaux, nous allons déterminer la figure qu'elle doit avoir pour remplir cet objet. FIG. 36.

Détermination de la figure la plus avantageuſe de la tête d'une jettée.

Fig. 39. Suppoſons d'abord que la tête de la batte ſoit diviſée en deux parties égales & ſemblables BAD, *b*AD, par l'axe AD parallele au fil de l'eau. Suppoſons de plus que toutes les molécules de l'eau ſe meuvent avec la même vîteſſe ſuivant des directions perpendiculaires à la plus grande largeur B*b* de la tête, ce qui eſt très-ſenſiblement vrai, parce que la tête d'une jettée n'occupe jamais une largeur fort conſidérable ſur la riviere. Il s'agit de trouver une courbe BA*b* telle qu'elle ſouffre la moindre impulſion qu'il eſt poſſible de la part du choc de l'eau.

Soient MM′, M′M″, deux élements conſécutifs de la courbe cherchée, & ſoient menées aux deux axes AD, BD, les coordonnées perpendiculaires MP, MQ; M′P′, M′Q′; M″P″, M″Q″. Il eſt clair que la courbe demandée doit être telle, que la ſomme MM′ + M′M″, des deux élémens conſécutifs MM′, M′M″, éprouve une moindre impulſion que la ſomme MV + VM″ de deux autres lignes quelconques infiniment petites MV, VM″ terminées aux points M & M″ : autrement la courbe AMVM″B éprouveroit une moindre impulſion que la courbe AMM′M″B, ce qui eſt contraire à l'hypotheſe. Or les deux élemens MM′, M′M ſouffrent des impulſions perpendiculaires, leſquelles ſont exprimées, comme on ſait, par $V \times MM' \times \frac{\overline{M'R}^2}{\overline{MM'}^2}$ & par $V \times M'M'' \times \frac{\overline{M'R'}^2}{\overline{M'M''}^2}$, V étant la vîteſſe du fluide.

Qu'on décompoſe chacune de ces forces en deux autres, l'une perpendiculaire à AD, & l'autre parallele à AD. Il eſt évident que les deux forces perpendiculaires à AD ſont détruites par deux forces ſemblables qui proviennent des impulſions contre *mm′* & contre *m′m″*, & que par conſéquent il ne faut avoir égard qu'aux forces paralleles à AD. La premiere eſt repréſentée par $V \times MM' \times \frac{\overline{M'R}^2}{\overline{MM'}^2} \times \frac{M'R}{M'M} = \frac{V \times \overline{M'R}^3}{\overline{MM'}^2}$, la ſeconde par $V \times M'M'' \times \frac{\overline{M'R'}^2}{\overline{M'M''}^2} \times \frac{M'R'}{M'M''} = \frac{V \times \overline{M'R'}^3}{\overline{M'M''}^2}$. On aura donc par la nature du problême, (à cauſe de V conſtante), $\frac{\overline{M'R}^3}{\overline{M'M}^2} + \frac{\overline{M''R'}^3}{\overline{M'M''}^2} = minimum.$

Pour déduire de la condition énoncée la nature de la courbe, conſidérons pour un moment les lignes MM′, M′M″ comme finies, & les deux points M, M″ comme fixes & donnés. En faiſant MR=r, RM′=s, MH=t, HM″=τ, il eſt viſible qu'on aura $\frac{s^3}{rr+ff}+\frac{(\tau-r)^3}{(\tau-s)^2+(t-r)^2}=$ *minimum*.

Ainſi ſuivant les regles du calcul différentiel, il faut prendre la différentielle de cette quantité & l'égaler à zéro. Mais avant que de paſſer à cette équation, on remarquera qu'en vertu de l'hypotheſe que les deux points M & M″ ſont fixés, les quantités t & τ ſont conſtantes. De plus il eſt évident que des deux autres quantités r & s, on peut ne faire varier que la ſeule quantité r, en ſuppoſant pour cela que les deux lignes MM′, M′M′ doivent ſe terminer au même point M′ de la ligne M′Q′ donnée de poſition, puiſqu'il n'y a que la courbe cherchée qui ait la propriété de rendre l'impulſion ſur MM′+M′M″, moindre que l'impulſion ſur MV+VM″, le point V étant auſſi placé ſur la droite M′Q′.

Cela poſé, ſi l'on fait la différentiation propoſée ſuivant r ſeulement, & qu'on diviſe par dr, on trouvera

$$\frac{rs^3}{(rr+ff)^2}-\frac{(t-r)(\tau-s)^3}{((\tau-s)^2+(t-r)^2)^2}=0.$$

C'eſt-à-dire $\frac{MR\times\overline{RM'}^3}{\overline{MM'}^4}=\frac{M'R'\times\overline{R'M''}^3}{\overline{M'M''}^4}$.

On voit parlà que la nature de la courbe cherchée, doit être telle que MR & RM′, étant reſpectivement les différentielles de l'abſciſſe, & de l'ordonnée, le rapport $\frac{MR\times\overline{RM'}^3}{\overline{MM'}^4}$ ſoit toujours conſtant. Donc en ſuppoſant à l'ordinaire l'abſciſſe Ap=x, l'ordonnée Pm=y, on aura l'équation

$\frac{dx\,dy^3}{(dx^2+dy^2)^2}=n$, n étant un nombre conſtant.

Soit $dx=\tau dy$, on aura $\frac{\tau^3}{(\tau\tau+1)^2}=n$; d'où l'on voit que τ eſt auſſi un nombre conſtant. Soit pour abréger $\tau=m$, on aura $dx=m\,dy$. Donc en intégrant, $x=A+my$, équation à la li-

gne droite ; donc BA*b* eſt un aſſemblage de lignes droites, & n'eſt point une courbe, comme on l'avoit ſuppoſé avant que de connoître la nature de cette ligne.

Si, outre la condition du *minimum*, on avoit eu encore à remplir celle de *l'Iſoperimetriſme* ou quelque autre équivalente, il auroit fallu prendre trois élémens conſécutifs de la courbe. Alors conſidérant les deux points extrêmes comme fixes, on auroit eu deux conditions pour déterminer la poſition des deux points intermédiaires, & pour parvenir delà à l'equation de la courbe.

XXXIX.

Examinons maintenant qu'elle doit être la poſition des lignes droites qui doivent former la tête de la batte pour éprouver le moindre choc qu'il eſt poſſible.

La queſtion ſe réduit à conſtruire ſur la baſe donnée B*b* double de BD, un trapeze BS*sb* de hauteur donnée AD, & compoſé de deux parties égales & ſemblables BSAD, *bs*AD, lequel éprouve une moindre impulſion que tout autre trapeze de même baſe & de même hauteur, & diviſé auſſi en deux parties égales & ſemblables par l'axe AD.

Soit menée SL perpendiculaire ſur B*b*, & ſuppoſons AD $= a$, DB $= c$, l'indéterminée AS ou DL $= u$. L'impulſion ſur le ſyſtême des deux lignes BS, SA dans le ſens de l'axe AD, ſera proportionnelle à $\frac{(c-u)^3}{a^2+(c-u)^2}+u=$ *minimum*,

donc $\frac{-3(c-u)^2\,du}{a^2+(c-u)^2}+\frac{2(c-u)^3(c-u)\,du}{(a^2+(c-u)^2)^2}+du=0$.

D'où l'on tire ſans peine $u=c-a$.

Par-là, on voit que ſi $c=a$, ou ſi AD $=$ BD, la tête de la batte ſera un triangle iſocele, dont chacun des angles à la baſe ſera de 45 degrés. Si $c>a$, on aura BL $=$ SL, & la tête de la batte ſera un trapeze BS*sb*, dont les deux angles à la baſe B & *b* ſeront chacun de 45 degrés. Enfin ſi $c<a$, la valeur de u ſera négative ; & comme AS ne peut pas tomber du côté oppoſé, puiſque la tête de la batte ſe trouve au point A par la nature du problême, il s'enſuit qu'on ne pourra tout au plus que mener au

point A les droites BA, *b*A, & qu'alors la tête de la batte ſera le triangle iſocele BA*b*.

Comme on eſt ordinairement maître de donner à la tête de la batte la ſaillie qu'on juge à propos, ou de fixer à volonté le rapport des lignes AD, BD, & que d'ailleurs il eſt très-avantageux de diſtribuer uniformément le choc de l'eau ſur tous les points des faces de la tête, il réſulte de ce qu'on vient de dire, que la meilleure forme qu'on puiſſe lui donner eſt celle d'un triangle rectangle iſocele BA*b*. On doit avoir ſoin d'armer de fer l'angle A, afin qu'il diviſe plus facilement les glaces qui viendroient le frapper, & d'arrondir les angles d'épaulement B & *b*, pour diriger plus inſenſiblement le cours de l'eau le long du parement de la batte.

X L.

Si la tête de la batte, au lieu d'être expoſée directement au fil de l'eau, comme on l'a ſuppoſé dans les deux articles précédens, avoir une poſition oblique par rapport au courant, on trouveroit encore, par une analyſe pareille à celle de l'article XXXVIII, qu'elle devroit être compoſée de lignes droites; & cela, ſoit que le *minimum* d'impulſion réſulte des forces entieres que ſouffrent perpendiculairement tous les points des faces, ſoit que ce *minimum* réſulte des mêmes forces décompoſées ſuivant des directions paralleles à des lignes quelconques données de poſition. Par-tout la ligne droite ſe reproduit. On voit encore par-là que, quand il n'y a pas une différence ſenſible entre les vîteſſes des différens filets qui viennent frapper les paremens de la jettée, ces paremens doivent être rectilignes. Il eſt heureux que la figure rectiligne, qui eſt la plus commode pour la pratique, ſoit préciſément celle que donne la théorie.

X L I.

Ce principe général poſé, pour déterminer la tête d'une batte dont le parement BH fait avec la direction du courant un angle quelconque, on pourra tirer B*b* perpendiculaire à BH, & ſur B*b* comme baſe, conſtruire un triangle BA*b*, dont le côté A*b* ſoit parallele au fil de l'eau: alors il n'y aura que AB qui en ſouffre le choc, & il eſt évident que ce choc ſera d'autant moindre que l'angle A ſera plus aigu. Fig. 41.

Si on veut que les deux faces AB, A*b* ſoient frappées, & qu'elles ſouffrent des chocs perpendiculaires égaux, voici comment on Fig. 42.

trouvera la position de ces lignes, en supposant que le sommet inconnu A doive être distant de la base Bb d'une quantité connue.

Sur Bb toujours perpendiculaire aux parements BH, bh, on imaginera que du point A tombe la perpendiculaire AK ; on tirera BE perpendiculaire à la direction du courant, & du point A on abaissera AE perpendiculaire sur BE. Alors il est clair que l'impulsion perpendiculaire contre AB sera proportionnelle à AB × (*sin.* BAE)^2, & que l'impulsion perpendiculaire contre Ab, sera proportionnelle à Ab × (*sin.* bAE)^2 ; il faudra donc déterminer le point K par la condition qu'on ait AB × (*sin.* BAE)^2 = Ab × (*sin.* bAE). Soient les connues AK = a, Bb = b, le sinus total = 1, le sinus de l'angle EBb = q, son cosinus = r, l'inconnue BK = x. On aura AB = $\sqrt{aa+xx}$, *sin.* BAK = $\frac{BK}{AB} = \frac{x}{\sqrt{aa+xx}}$; & comme l'angle EAK est évidemment égal à l'angle EBb, il s'ensuit par les regles de la trigonométrie, que *sin.* BAE = $\frac{qa+rx}{\sqrt{aa+xx}}$. On aura de même bA = $\sqrt{aa+(b-x)^2}$, *sin.* bAK = $\frac{bK}{Ab} = \frac{b-x}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}$, & par les regles de la trigonométrie, *sin.* bAE = $\frac{(b-x)r-qa}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}$. Nous avons donc par la condition énoncée ci-dessus. $\sqrt{aa+xx} \times \left(\frac{qa+rx}{\sqrt{aa+xx}}\right)^2 = \sqrt{aa+(b-x)^2} \times \left(\frac{(b-x)r-qa}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}\right)$, ou bien $\frac{(qa+rx)^2}{\sqrt{aa+xx}} = \frac{((b-x)r-qa)^2}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}$, équation de laquelle on tirera l'inconnue x.

XLII.

Fig. 43. Tout ce que nous venons de dire sur la forme & la position des têtes des jettées, s'applique de soi-même aux éperons A qui se font à la tête des isles. Quant à ceux T qu'on construit à la queue des isles, & par lesquels on doit terminer une jettée dont la partie d'aval seroit entierement isolée, l'irrégularité des efforts qu'ils ont à soutenir de la part de l'eau, ne permet pas de leur assigner de forme par le calcul. En effet, les eaux ayant été divisées par l'éperon A, celles qui sont adjacentes à l'éperon T n'ont point de vîtesse de translation : elles sont dormantes dans un certain espace XZY. Les eaux voisines, en venant les choquer, les tiennent par ce choc comme suspendues, & sont à leur égard à peu près la fonction des parois d'un vase ; mais comme ces parois ne sont point

point ici des appuis immobiles, qu'au contraire ils changent ſans ceſſe par la ſucceſſion des molécules d'eau, il eſt clair qu'il y a une action & une réaction continuelles entre le choc des eaux courantes, & la preſſion des eaux dormantes; & comme il eſt impoſſible que ces deux forces ſoient conſtamment dans un équilibre abſolu, de leur oppoſition doivent néceſſairement réſulter des agitations en toutes ſortes de ſens dans toute la profondeur des eaux. Ces agitations qui produiſent des affouillemens ſous l'éperon & qui en dégradent les paremens, ſont abſolument indéterminables par la Géométrie ; ainſi nous n'entreprendrons point d'aſſigner la courbe la plus avantageuſe pour leur réſiſter. On employera celle qu'on jugera la plus convenable ſelon les circonſtances. Nous nous contenterons de dire que les angles des épaulemens doivent être les moins tranchans qu'il ſe pourra, tant parce qu'ils en ſeront plus ſolides, que parce qu'ils en occaſionneront moins de tournoiemens.

CHAPITRE IV.

Des Reverſoirs.

XLIII.

Les reverſoirs ont pour objet, comme les battes, de faire gonfler l'eau d'une riviere au-deſſus d'un moulin ou d'un ſas d'écluſe ; mais ils en different non-ſeulement par leur direction, qui eſt communément moins dans le ſens du courant que celle des battes, mais encore parce que ces dernieres laiſſent en tout tems un libre cours à une partie de l'eau, au lieu que les reverſoirs la barrent entierement juſqu'à ce qu'elle ait acquis aſſez de hauteur pour paſſer par-deſſus. C'eſt pour cette raiſon qu'ils ſont préférables aux battes qui, comme nous l'avons déja remarqué, ne rempliſſent que très-imparfaitement l'objet qu'on ſe propoſe en les conſtruiſant.

XLIV.

Les reverſoirs ſe placent ou en travers de la riviere, comme AB (fig. 44), ou à l'entrée d'un ſecond bras, comme CD (fig. 45). Fig. 44 & 45.

Il ſe préſente à ce ſujet deux queſtions à examiner, la premiere ſur l'endroit de la riviere où l'on doit placer le reverſoir, la ſeconde ſur la direction qu'on doit lui donner.

Nous répondons à la premiere que lorſqu'on n'eſt point gêné par d'autres conſidérations, on doit préférer l'endroit de la riviere le plus large, qui eſt ordinairement le moins profond; car de deux digues, dont les paremens expoſés à l'eau ſont égaux en ſurface, la plus longue exige moins d'épaiſſeur & conſomme par conſéquent moins de matériaux. C'eſt ce qu'on verra aiſément par les formules de l'art. X. Si cependant il y avoit peu d'eau à ſoutenir, comme dans ce cas la digue a ordinairement plus de force & par conſéquent plus d'épaiſſeur qu'il ne lui en faut, on pourroit, pour en diminuer la longueur, choiſir l'endroit de la riviere le plus étroit.

Nous obſerverons, par rapport à la ſeconde queſtion, que c'eſt une erreur de placer les digues obliquement au courant dans la vue de diminuer l'effort qu'elles auront à ſoutenir; car dans le cas de la ſimple preſſion, qui eſt le plus ordinaire, cette preſſion ſe faiſant toujours perpendiculairement au parement, la digue ne doit pas avoir moins d'épaiſſeur, quelle que ſoit ſon obliquité. Le plus de longueur qui en réſulte eſt donc une dépenſe en pure perte. Quant aux digues qui ſeroient en même tems expoſées au choc de l'eau, ce choc ajoure ſi peu à la preſſion, qu'on ne regagneroit jamais ſur l'épaiſſeur la dépenſe qu'entraîneroit l'augmentation de longueur; ce qui eſt d'autant plus vrai, que la maçonnerie du parement eſt toujours plus coûteuſe que celle du rempliſſage. Ces réflexions conviennent à toutes les digues deſtinées à barrer un bras de riviere, mais il y a de plus une raiſon particuliere pour placer les réſervoirs à l'équerre ſur le lit du fleuve, c'eſt que toute direction oblique, en rejettant les eaux contre une des berges, tend néceſſairement à la détruire.

XLV.

Lorſqu'un reverſoir eſt placé ſur une riviere navigable, il faut y pratiquer un pertuis E qu'on ne tient ouvert que pendant le paſſage des bateaux, & qu'on referme enſuite de différentes manieres, dont l'examen eſt étranger à cet ouvrage. Nous remarquerons ſeulement que lorſque la chûte de l'eau excede 3 pieds, le paſſage d'un pertuis devient très-dangereux, & qu'il conviendroit pour lors de ſubſtituer à ce pertuis un ſas d'écluſe avec tout ce qui en dépend.

XLVI.

L'épaiſſeur des reverſoirs & les talus de leurs paremens, tant

d'amont que d'aval, ſe déterminent d'après ce qui a été enſeigné dans les deux premiers chapitres, en obſervant qu'un reverſoir eſt ſouvent chargé d'eau ſur toute ſa hauteur du côté d'amont, pendant qu'il eſt à ſec à celui d'aval.

XLVII.

Il y a longtems qu'on cherche la courbure qu'il convient de donner au commencement d'un reverſoir, afin que ce même couronnement ne ſoit pas plus fatigué dans un endroit que dans l'autre par les eaux qui coulent deſſus, & que de plus les eaux à leur chûte au-delà du reverſoir ſoient amenées inſenſiblement à une direction horizontale. Cette courbe n'eſt peut-être pas déterminable en rigueur, ſi l'on veut avoir égard à toutes les circonſtances qui entrent dans la queſtion. Mais nous croyons qu'on parviendra à s'en former quelque idée, au moyen du problême que nous allons réſoudre.

Conſidérons une lame d'eau infiniment mince, ou plutôt un ſimple filet d'eau compoſé de molécules qui ſe ſuccédent les unes aux autres tout le long du couronement du reverſoir; & qu'on nous permette de ſuppoſer que chaque molécule ſe meut de la même maniere que ſi elle étoit ſeule & qu'elle n'éprouvât par conſéquent aucune action, ni réaction de la part des molécules contiguës. Cette ſuppoſition n'eſt pas fort éloignée de la vérité. Quoi qu'il en ſoit, nous nous propoſons de déterminer la courbe que doit décrire chaque molécule regardée comme un corps iſolé, de maniere que cette courbe ſouffre une preſſion égale dans tous ſes points, en ſuppoſant la molécule ſoumiſe à l'action de la peſanteur & d'un frottement proportionnel au produit de la preſſion & d'une puiſſance quelconque de la vîteſſe: problême intéreſſant en lui-même, indépendamment de toute application dont il peut-être ſuſceptible dans la pratique. Il n'eſt pas parlé dans l'énoncé de ce problême de l'autre propriété qu'il faudroit que la courbe demandée eût d'amener les eaux à une tendance horizontale, parce qu'il peut ſe faire que cette propriété ne ſoit pas compatible avec la premiere, & que la choſe ne pourra être décidée qu'à la fin de la ſolution.

Soit AMN la courbe cherchée. Qu'on mene à l'axe vertical AH, les ordonnées quelconques infiniment voiſines PM, *pm*; & ſoit OM le rayon de la développée qui répond au point M. Soit priſe la verticale MK pour repréſenter la peſanteur de la molécule parvenue en M, & ſoit décompoſée cette force en deux autres

MQ, ME, l'une perpendiculaire, l'autre tangente à la courbe.

Suppoſons
- La gravité . . . . . = g
- La maſſe de la molécule . . . . . = m
- La vîteſſe de m le long de l'élément Mm = u
- AP = x
- PM = y
- MR = dx
- RM = dy
- Mm = ds
- Le rayon OM de la developpée = R

Il eſt clair qu'à cauſe des triangles ſemblables MEK, MRm, la force abſolue MQ ou KE, ſera exprimée par $gm\frac{dy}{ds}$, & la force abſolue ME par $gm\frac{dx}{ds}$.

Quelle que puiſſe être la nature de la courbe cherchée, la preſſion que ſouffre le point M perpendiculairement à Mm, eſt toujours égale à la ſomme de la force MQ & de la force centrifuge qu'a la molécule au point M. Ainſi cette preſſion ſera repréſentée par $\frac{gmdy}{ds} + \frac{muu}{R}$; & comme elle doit être la même dans tous les points de la courbe, on l'égalera à une conſtante C, & l'on aura l'équation (A) $\frac{gmdy}{ds} + \frac{muu}{R} = C$.

La maſſe m eſt accélerée dans le ſens Mm par la force ME, & elle eſt retardée par la réſiſtance du frottement qu'il faut regarder comme une force dirigée dans le ſens oppoſé mM. Or le frottement étant une partie déterminée du produit de la preſſion par une puiſſance quelconque de la vîteſſe, il ſera exprimé par $\frac{Cu^n}{p}$ (p étant un nombre poſitif plus grand que l'unité, n un expoſant quelconque). Par conſéquent la force accélératrice abſolue de m le long de Mm ſera $\frac{gmdx}{ds} - \frac{Cu^n}{p}$; & l'on aura, par le principe ordinaire des forces accélératrices, l'équation (B) $mudu = \left(\frac{gmdx}{ds} - \frac{Cu^n}{p}\right) ds = gmdx - \frac{Cu^n ds}{p}$.

Il n'eſt plus queſtion que de tirer de ces deux équations la rélation entre x & y.

Qu'on ſubſtitue dans l'équation (A), à la place de R, ſa valeur $\frac{dsdx}{ddy}$ dans laquelle ds eſt ſuppoſé conſtant; on aura (en ſuppoſant

pour abréger un peu le calcul, $\frac{c}{m} = a$) $\frac{gdy}{ds} + \frac{uuddy}{dsdx} = a$, ou bien $uu = \frac{adsdx - gdydx}{ddy}$.

Suppoſons $dy = \zeta ds$, & par conſéquent auſſi $ddy = d\zeta ds$: on aura $uu = \frac{adx - g\zeta dx}{d\zeta} = \frac{dx}{d\zeta}(a - g\zeta)$; donc $udu = -\frac{gdx}{2} + \left(\frac{a-g\zeta}{2}\right) d\left(\frac{dx}{d\zeta}\right)$; $u^n = \left(\frac{dx}{d\zeta}\right)^{\frac{n}{2}} (a - g\zeta)^{\frac{n}{2}}$.

Mettons ces valeurs de udu, & de u^n dans l'équation (B) ; mettons auſſi pour ds ſa valeur $\frac{dx}{\sqrt{1-\zeta\zeta}}$, & faiſons pour abréger $\frac{c}{pm} = b$: nous aurons $-\frac{gdx}{2} + \left(\frac{a-g\zeta}{2}\right) d\left(\frac{dx}{d\zeta}\right) = gdx - \frac{b\left(\frac{dx}{d\zeta}\right)^{\frac{n}{2}} (a-g\zeta)^{\frac{n}{2}} dx}{\sqrt{1-\zeta\zeta}}$, ou bien $d\left(\frac{dx}{d\zeta}\right) = \frac{3gdx}{a-g\zeta} - \frac{2b\left(\frac{dx}{d\zeta}\right)^{\frac{n}{2}} (a-g\zeta)^{\frac{n}{2}-1} dx}{\sqrt{1-\zeta\zeta}}$.

Suppoſons $\frac{dx}{d\zeta} = q$, $dx = qd\zeta$, & pour abréger le calcul, prenons $\frac{3g}{g\zeta - a} = -M$, $\frac{2b(a-g\zeta)^{\frac{n}{2}-1}}{\sqrt{1-\zeta\zeta}} = N$; on aura ſa transformée $dq + Mqd\zeta + Nq^{\frac{n}{2}+1} d\zeta = o$, ou bien $q^{-\left(\frac{n}{2}+1\right)} dq + Mq^{-\frac{n}{2}} d\zeta + Nd\zeta = o$. Pour rendre cette équation intégrable, on multipliera tous les termes par $c^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta}$ quantité qu'on découvre par des méthodes connues, & dans laquelle c eſt le nombre dont le logarithme eſt 1 ; ce qui donnera $q^{-\left(\frac{n}{2}+1\right)} c^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta} dq + Mq^{-\frac{n}{2}} \times c^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta} d\zeta + Nc^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta} d\zeta = o$, dont l'intégrale eſt $\frac{-2q^{-\frac{n}{2}} c^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta}}{n} + \int Nc^{\int -\frac{n}{2} Md\zeta} d\zeta = B$. D'où l'on voit que q eſt une fonction donnée de ζ. Soit repréſentée cette fonction par P, c'eſt-à-dire, ſoit $q = P$: on aura $dx = Pd\zeta$; donc x ſera auſſi une fonction donnée de ζ. Donc à cauſe de $dy = \frac{\zeta dx}{\sqrt{1-\zeta\zeta}}$, y ſera encore une fonction de ζ. Par conſéquent les deux coordonnées x & y étant exprimées par le moyen de la même variable ζ, on pourra conſtruire la courbe demandée.

On ne connoît pas exactement la maniere dont la vîteſſe influe ſur le frottement. Si l'on ſuppoſoit que le frottement fût ſimplement proportionnel à la preſſion, on trouveroit, en remontant aux deux équations fondamentales (A) & (B), & en employant la même analyſe qu'on emploie lorſqu'il s'agit de trouver la courbe d'*égale preſſion* dans le vuide, que la courbe cherchée eſt géométrique. Mais ſi on ſuppoſe avec quelques Auteurs, que le frottement eſt en raiſon compoſée de la preſſion & de la vîteſſe (hypotheſe qui nous paroît ici préférable à toute autre), on aura $n = 1$, & la courbe demandée ſera à peu près telle que nous l'avons repréſentée dans notre figure. On voit qu'elle rend encore à amener le corpuſcule qui deſcend à une direction horizontale. Malheureuſement elle eſt comme impoſſible à exécuter dans la pratique, à cauſe de l'extrême complication des valeurs des coordonnées x & y. De plus il faut obſerver que la vîteſſe initiale étant un des parametres de la courbe, lorſque cette vîteſſe vient à changer (ce qui arrive ici continuellement à meſure que les eaux croiſſent ou baiſſent), les dimenſions de la courbe changent auſſi néceſſairement, & que par conſéquent la courbe individuelle qui convient à un cas, ne convient pas rigoureuſement à un autre.

D'après ces remarques, tout ce qu'on peut demander eſt la conſtruction méchanique ou graphique de quelque courbe qui rempliſſe l'objet propoſé d'une maniere ſuffiſamment exacte pour la pratique : en voici une qui nous paroît avoir cette propriété.

XLVIII.

Fig. 47. La hauteur AB de la digue étant donnée, faites ſa largeur AC égale à deux fois & demie cette hauteur AB. Tirez enſuite la ligne de conſtruction CB, & décrivez du centre A & de l'intervalle AB, l'arc BED qui rencontrera CB au point D ; élevez CF perpendiculaire ſur CA ; diviſez CD en deux également au point G, & élevez là perpendiculaire CH qui coupera CF au point I. De ce point I, comme centre, décrivez l'arc CLD, qui, joint à l'arc DEB, donnera la courbe cherchée CLDEB.

Il eſt vrai que le frottement eſt très-conſidérable le long du parement en talon renverſé que donne cette courbe, ce qui force à n'en faire uſage que lorſqu'on a des matériaux fort durs, & ſurtout d'un très-grand échantillon ; mais lorſqu'on en peut trouver de cette qualité, & lorſque la hauteur de la chûte eſt conſidérable, il n'y a point à balancer à ſe ſervir de la courbe. Le frottement n'a d'autre effet que d'uſer à la longue le couronnement

du reverſoir, ce qui donne la facilité de faire en tems convenable les réparations qu'on croit néceſſaires, au lieu que la chûte de l'eau & ſur-tout des glaçons ſur un plancher horizontal, briſe & détruit ce plancher au moment où on s'y attend le moins, & preſque toujours dans le tems des grandes eaux ou des débacles, de ſorte qu'il eſt ſouvent impoſſible d'y remédier à tems.

Lorſqu'on n'a pas de matériaux des qualités requiſes pour faire un reverſoir en talon renverſé ; lorſque la hauteur de la chûte n'eſt pas aſſez conſidérable pour exiger cette dépenſe, & enfin lorſque la hauteur de l'eau ſur le radier eſt en tout tems aſſez forte pour rompre le coup de celle qui tombe, & ſur-tout des glaçons, on peut ſe contenter d'une digue dont les paremens ſoient en talut, d'après ce qui a été dit à ce ſujet ſur les autres digues, & le deſſus en pente, le tout ainſi que la fig. 48 le repréſente. FIG. 48.

Il eſt évident que le deſſus du reverſoir n'éprouve aucune fatigue s'il eſt dirigé ſuivant un talut BE qui ne ſoit pas rencontré par la parabole BF repréſentant la courbe que l'eau décriroit ſi elle étoit abandonnée à elle-même. Si on dirigeoit au contraire ce deſſus ſuivant un talut BG qui rencontrât la parabole au point O, toute la partie OG ſeroit labourée par des ondulations paraboliques qui tendroient à la dégrader ; d'où l'on voit qu'il faut toujours tracer le deſſus d'un reverſoir, de maniere qu'il ne puiſſe pas être rencontré par la parabole que l'eau décrit en tombant.

Si la digue DBEC, enfermée ſous la parabole BF, n'étoit pas aſſez épaiſſe pour ſoutenir les eaux dont elle eſt chargée, il faudroit augmenter ſon épaiſſeur du côté d'amont & faire le deſſus BN de ce repaiſſiſſement de niveau, afin de ne rien changer à la parabole BHQF.

Dans le cas où cette digue DBEC ſeroit ſuffiſante, mais où le talut EB rendroit l'angle EDB trop aigu, il ſeroit très-utile de donner au deſſus du reverſoir la courbure BOH de la parabole.

Il ne reſte donc plus de difficulté que par rapport au choc de l'eau contre le fond CF ou contre le radier, qu'il eſt toujours indiſpenſable d'y conſtruire lorſque le reverſoir n'eſt pas établi ſur le roc. Nous obſerverons à ce ſujet qu'il eſt pour le moins inutile de chercher à ramener les eaux au pied du reverſoir en inclinant de ce côté le radier *de* ; car outre que ce radier eſt par ce moyen frappé plus directement, les eaux réfléchies en B, ſuivant un plus grand angle que ſi le radier étoit de niveau, tomberont vers C de plus haut, & y produiront par conſéquent un FIG. 49.

plus grand affouillement. Une pente en ſens contraire produiroit encore plus directement l'affouillement: il faut donc s'en tenir à la poſition horizontale.

XLIX.

Paſſons maintenant à ce qui regarde la conſtruction des reverſoirs relativement au plus ou moins de ſolidité qu'ils doivent avoir ſelon la charge d'eau qu'ils ont à ſoutenir & les matériaux avec leſquels on eſt obligé de les conſtruire, en commençant comme nous avons toujours fait, par les conſtructions les plus ſimples & les moins coûteuſes.

Fig. 50. La figure 50 repréſente la coupe d'un reverſoir ſemblable à ceux qu'on conſtruit ſur les petites rivieres, & lorſqu'on veut épargner la dépenſe.

Fig. 51. On voit (fig. 51), l'élevation & la coupe d'un reverſoir de charpente, avec ſon plancher bronchant AB qui doit s'étendre pluſieurs pieds au de-là de la chûte des plus grandes eaux.

Fig. 52. Le reverſoir repréſenté (fig. 52), eſt établi ſur le roc, & eſt conſtruit en maçonnerie. Si le roc, au lieu de ſe trouver à la ſurface, étoit à pluſieurs pieds de profondeur, comme dans la figure
Fig. 53. 53, il faudroit deſcendre la fondation juſqu'au ſolide, & conſtruire en aval le radier BA, dont la maçonnerie doit être liée avec le corps de la digue, & doit s'étendre, comme le plancher bronchant de la fig. 51, au de-là de la chûte des eaux. Le corroi de glaiſe E ne peut être que de la plus grande utilité. C'eſt une petite dépenſe par rapport à la totalité de l'ouvrage, & l'on ſe repent preſque toujours de ne l'avoir pas faite.

Fig. 54. Dans le cas où l'on voudroit conſtruire un reverſoir en maçonnerie ſur un fond abſolument mauvais (fig. 54), le corroi de glaiſe E eſt encore plus eſſentiel, & il faut établir tant la digue que ſon radier, ſur pilotis avec de bons bordages de pal-planches en amont & en aval, le tout ainſi qu'il eſt exprimé dans la figure 54. La dépenſe d'un plancher de madriers ſur le grillage qui couronne les pilots, ſeroit plus qu'inutile dans cette eſpece d'ouvrage, puiſque ce plancher interromperoit la liaiſon entre la maçonnerie dans les caſes du grillage, & celle de la digue.

Fig. 55. Enfin on voit, fig. 55, la coupe d'un reverſoir dont le deſſus ſeroit formé ſuivant la méthode que nous avons donnée (art. XLVIII). On y a marqué la maniere dont les pierres doivent être apparcillées & poſées pour qu'il ne s'y trouve pas d'angle trop maigre, & pour que leur lit inférieur ſoit toujours de niveau.

L.

Un objet de la plus grande importance pour la ſolidité des reverſoirs, eſt de bien aſſurer leurs extrêmités par des enracinemens ou culées AB, CD qui doivent s'élever au niveau du deſſus des berges, & dont les jouées B & C, doivent être conſtruites avec les plus beaux quartiers de pierre reliés & encaſtrés ſuivant que les circonſtance l'exigeront d'après ce que nous avons dit de la conſtruction des murs de quai, & même de celle des digues maritimes. FIG. 56.

L'obſervation que nous avons faite ſur le danger qu'il y avoit de mettre l'eau contre les digues en terre, ſitôt qu'elles ſont achevées, doit auſſi avoir lieu pour les digues en maçonnerie, & ſurtout pour les réverſoirs. Quantité d'ouvrages de cette eſpece, très-bien faits d'ailleurs, ont été renverſés, parce qu'on s'eſt trop précipité à cet égard. Il y a à la vérité des circonſtances où l'on ne peut faire autrement, comme quand un ouvrage ne ſe trouve achevé qu'à la fin de l'automne. En ce cas il ſeroit très-utile de le revêtir en vieilles planches retenues avec un bâtis de charpente, auſſi en vieux bois, pour épargner la dépenſe; car il ſuffit que ce revêtement puiſſe paſſer l'hiver, après quoi l'ouvrage eſt ſauvé, s'il a été conſtruit avec quelque attention.

CHAPITRE V.

Des Epis.

L I.

ON donne quelquefois indifféremment le nom d'épis à toutes les digues, dont l'objet eſt de conſerver les berges d'une riviere, & c'eſt en ce ſens qu'on appelle *épis* le long du Rhin, les revêtemens en faſcinages, que nous avons cru devoir placer dans le même chapitre que les murs de quai, parce qu'ils en tiennent réellement lieu dans les endroits où on les conſtruit.

Les épis proprement dits, dont il s'agit ici, ſont des bouts de digues AB, CD, EF deſtinés à modifier le cours d'une riviere, de maniere qu'elle ſe rétabliſſe comme d'elle-même dans ſon premier état, en détruiſant les attériſſemens & en rempliſſant les affouillemens que l'irrégularité & la rapidité du courant y ont formés. FIG. 57.

Les épis ptoprement dits ne ſont donc point des ouvrages permanens; & leur objet une fois templi, on voit que ſi on les laiſſoit ſubſiſter plus long-tems, les inconvéniens auxquels on auroit remédié ſur une rive, ne tarderoient pas à ſe faire appetcevoir ſur la rive oppoſée. On a dû, par cette raiſon, chetcher les moyens de parvenir au même but ſans conſtruire à grands frais des ouvrages dont la démolition occaſionne peu de tems après une nouvelle dépenſe. C'eſt pour cela qu'on ſe contente ſouvent de faire échouer à propos quelque vieux bateau qu'on déchire & qu'on retire par morceaux, lorſqu'il a produit l'effet qu'on en attendoit.

Une autre conſidération vient à l'appui de la précédente, pour conſtruire les épis le plus légerement que la profondeur & la rapidité du courant le permettent; c'eſt que preſque toujours les circonſtances ceſſent d'être les mêmes à meſure que l'épi produit ſon effet, & varient même d'autant plus promptement qu'il agit avec plus de ſuccès. Les épis ambulants ſont en ce cas d'une très-grande utilité.

LII.

La plupart des épis ambulants ne ſont autre choſe qu'une givée de faſcines qu'on fait échouer où l'on veut, en la chargeant de pietres, & qu'on remet à flot en ôtant ces mêmes pierres, & en attachant le long de ſon pied des tonneaux vuides & bien bouchés, auxquels on fait prendre fond à l'aide d'un pareil nombre de poulies fixées ſolidement dans cette givée.

On emploie encore avec ſuccès des pontons ſemblables à ceux dont on ſe ſert pour faciliter le curement des ports de l'Océan. M. *Belidor* recommande même l'uſage du radeau de M. *Caſtaing*, par rapport à la facilité avec laquelle on peut le tranſporter & changer ſa direction & ſon talut. Il eſt vrai que ce radeau a tous ces avantages dans les ports de l'Océan, parce qu'il s'échoue de lui-même en marée baſſe dans l'endroit où on le conduit à la faveur de la marée haute; mais il n'en eſt pas de même ſur les rivieres où il faudroit le faire aſſez lourd pour qu'il s'enfonçât par ſon ptopre poids, & où on ne pourroit par conſéquent le mettre & le retenir à flot qu'à l'aide d'autres radeaux plus légers, ou avec des bateaux & des tonneaux: on ſent combien cela en compliqueroit la manœuvre.

LIII.

Lorſque la trop grande ou ttop petite profondeur de l'eau, ſa rapidité ou d'autres circonſtances ne permettent pas de faire uſage

des épis ambulants ; ou que l'effet que l'on ſe promet d'un épi doit néceſſairement être l'ouvrage de pluſieurs années, il faut alors conſtruire un épi dormant & proportionner ſa ſolidité au tems pendant lequel on préſume qu'il devra ſubſiſter.

Le plus ſimple & le plus ordinaire des épis dormants eſt compoſé d'une file de pilots battus à la ſonnette, qu'on eſt en uſage de revêtir du côté d'amont avec un vannage, ou ſeulement avec des claies. Si le courant étoit plus rapide, on pourroit appuyer ce premier rang de pilots par un ſecond ; s'il l'étoit moins, il ſuffiroit d'adoſſer le vannage ou les claies contre une ou pluſieurs rangées de gabions remplis de pierres ou de gravier, & traverſés chacun par un fort piquet qui ſert à les fixer où l'on veut.

Quant aux épis qui demandent plus de ſolidité, on peut avoir recours à ce qui a été dit des autres eſpeces de digues. En effet, il n'y a aucune différence eſſentielle entre la maniere dont on doit établir les épis en faſcines, & celle dont nous avons vu qu'on établiſſoit les revêtemens de faſcinages qui ſe font le long des berges. Les épis conſtruits par encaiſſement ont auſſi le plus grand rapport avec les ouvrages qu'on fonde par encaiſſement dans la mer, & enfin les battis doubles, eſpece d'épis particulierement en uſage dans le département des turcies & levées, ne different preſqu'en rien des jettées & battes dont il a été traité dans le troiſieme chapitre.

L I V.

On pourroit faire un épi très-ſolide & très-commode, en y employant des chevres de charpente qu'on a la liberté de placer auſſi près & auſſi éloignées les unes des autres qu'on le juge convenable, pour donner à l'épi une réſiſtance proportionnée à l'effort qu'il doit ſoutenir. Ces chevres ſe placent toujours de maniere que leur dos AB ſoit du côté d'amont. C'eſt ſur ce dos qu'on appuie le vannage ou les claies qui doivent former le parement de l'épi : on donne à ce parement plus ou moins de talut, en alongeant ou raccourciſſant les jambes CB, DB, en enterrant plus ou moins la queue A, ou enfin en appliquant ſur le dos AB des fourrures plus épaiſſes par un bout que par l'autre. Le plus grand avantage d'un épi de cette eſpece, c'eſt que toutes les pieces dont il eſt compoſé étant indépendantes les unes des autres, on peut lui donner telle direction & telle courbure qu'on juge à-propos, & changer cette direction & cette courbure en totalité ou en partie, toutes les fois qu'on le croit néceſſaire. FIG. 58.

Quelque ſupériorité que l'épi qu'on vient de décrire ait preſque toujours ſur les autres, les circonſtances varient ſi prodigieuſement, qu'il n'y a aucune ſorte de conſtruction qui ne puiſſe trouver ſa place ; c'eſt pour cela qu'avant de paſſer à ce qui concerne la direction qu'on doit donner aux épis de quelque genre qu'ils ſoient, nous allons examiner ce qui a rapport à la forme des épis dormants.

LV.

Fig. 57. Un épi qui ſeroit auſſi élevé à ſa tête B qu'à ſa racine A, interceptcroit une ſi grande quantité d'eau lors des crues, qu'il en pourroit réſulter une infinité d'accidens. Il eſt vrai que ce ſeroit un moyen pour raſer en bien moins de tems l'attériſſement G ; mais comme il vaut mieux reculer de quelque tems l'effet qu'on attend d'un épi, que de s'expoſer aux ravages que peuvent faire les eaux lorſqu'elles ſont trop reſſerrées, c'eſt un très-bon uſage de tenir le deſſus d'un épi en talut : il travaille par ce moyen en tout tems ſans trop retrécir le lit. On comprend aſſez qu'outre la ſujétion qu'il y auroit à conſtruire un épi en pyramide triangulaire, comme EF, il ſeroit à craindre que la pointe F, & l'arrête EF ne ſe dégradaſſent trop facilement.

LVI.

Les eaux étant ordinairement preſque auſſi hautes au-deſſous qu'au deſſus d'un épi, & la preſſion y étant par conſéquent à très-peu de choſe près la même ; on voit que dans le cas où le genre de conſtruction de cet épi exigeroit qu'on en calculât l'épaiſſeur, c'eſt principalement au choc qu'il faudroit avoir égard pour déterminer cette épaiſſeur qui ſe trouvera facilement dans tous les cas par les méthodes précédentes.

LVII.

Fig. 59. Comme les différens filets d'eau paralleles qui viennent frapper un épi AMB adjacent à la rive AO, n'ont pas la même vîteſſe dans toute la largeur AF qui répond à cet épi, & que ceux qui ſont les plus éloignés de AO peuvent avoir la plus grande vîteſſe, c'eſt un problême utile de déterminer la nature de la courbe qu'il faut donner au plan d'un épi pour que tous les élémens de cette courbe ſouffrent des chocs égaux.

Soient donc AMB la courbe demandée, AP l'axe des abſciſſes, PM, *pm* deux ordonnées infiniment voiſines.

Suppoſons
- AP . . . . . = x
- PM . . . . . = y
- MR . . . . . = dx
- mR . . . . . = dy
- Mm . . . . . = ds
- La vîteſſe du filet KM qui vient frapper le point M . . . . . = Y

(Y eſt une fonction de y).

L'impulſion perpendiculaire contre l'élément Mm, eſt proportionnelle à $Mm \times Y^2 \times \frac{\overline{mR}^2}{\overline{Mm}^2} = \frac{Y^2 dx^2}{ds}$: or puiſque tous les élémens de la courbe doivent à égalité de longueur, ſouffrir des chocs égaux, il s'enſuit qu'on aura $\frac{Y^2 dy}{ds} = A ds$, A étant une conſtante, cette équation donne $Y^2 dy^2 = A dx^2 + A dy^2$, ou bien $dx\sqrt{A} = dy\sqrt{Y^2 - A}$; donc $x\sqrt{A} + B = \int dy \sqrt{Y^2 - A}$, B étant une ſeconde conſtante. Telle eſt en général l'équation de la courbe AMB ; les deux conſtantes A & B, doivent être déterminées par les deux conditions qu'elle paſſe par les deux points donnés A & B, c'eſt-à-dire, de maniere qu'on ait 1°. $y = o$, lorſque $x = o$, 2°. $y = BO$, lorſque $x = AO$.

Il eſt clair que, lorſqu'on connoîtra par des expériences immédiates dans chaque cas particulier la loi de la fonction Y, c'eſt-à-dire, la loi ſuivant laquelle varient les vîteſſes des différens filets qui viennent frapper AMB, rien ne ſera ſi facile que de conſtruire cette courbe, ſoit algébriquement, ſoit par les quadratures. Il n'eſt pas moins évident qu'on pourra toujours la mettre en œuvre, quelle que puiſſe être la direction de l'épi, puiſqu'on eſt maître de la faire paſſer par tel point B que l'on veut. Elle eſt principalement avantageuſe lorſqu'elle eſt frappée immédiatement par le courant, c'eſt ce qui arrive lorſque l'angle HAM eſt fort obtus. Mais dans les cas où il ſe forme au-devant de l'épi un amas d'eaux dormantes, elle eſt aſſez indifférente, du moins lorſque l'épi eſt une fois conſtruit.

LVIII.

Il nous reſte maintenant à examiner ce qui concerne la direction des épis, laquelle doit varier d'une infinité de manieres, relativement à la poſition des affouillemens qu'on veut combler, & à celle des attériſſemens qu'on ſe propoſe de raſer.

Les différens degrés de vîteſſe que les eaux d'une riviere acquierent ou perdent à meſure qu'elles augmentent ou qu'elles dimi-

nuent ; les modifications que reçoit encore cette vîteſſe & même la direction du courant en frappant non-ſeulement contre les épis, mais encore contre le priſme d'eaux dormantes qui ſe forme ordinairement au-devant d'un épi rectangulaire, ou contre la pyramide, auſſi d'eaux dormantes, qui ſe forme au même endroit lorſque le deſſus de l'épi eſt en pente, & une infinité d'autres incidens qui ſe ſuccedent d'un inſtant à l'autre, ſont autant de cauſes qui rendroient encore plus inutiles que difficiles les calculs qu'on pourroit faire à ce ſujet. C'eſt pour cela que nous nous en tiendrons ici à quelques principes généraux confirmés par l'expérience qu'il faudra combiner relativement aux circonſtances où l'on pourra ſe trouver.

1°. L'effet d'un épi dépend principalement de la vîteſſe du courant & de l'ouverture du paſſage qui reſte entre la tête de cet épi & la berge oppoſée, de ſorte que l'angle que l'épi forme avec la berge dans laquelle il s'enracine, eſt dans beaucoup de circonſtances bien moins eſſentiel qu'on ne le croit communément. C'eſt ce que nous allons d'abord faire voir pour le cas où le but d'un épi ſeroit de combler un affouillement par le moyen des dépôts que fait la maſſe d'eaux dormantes qu'il occaſionne.

FIG. 60. Soit AB un épi placé perpendiculairement ſur la berge CD : la maſſe d'eaux dormantes CBDA qui en réſulte, reſtera à peu de choſe près la même, quoiqu'on change la direction de cet épi, pourvu que ſa tête reſte toujours au point B, & que ſon corps ne ſorte point de l'eſpace CBDA. Il arrivera ſeulement que la maſſe d'eaux dormantes diminuera du côté où on aura tranſporté l'enracinement A, & augmentera de l'autre, de ſorte que cette maſſe entiere ſera à l'amont de l'épi, s'il eſt placé ſuivant la direction BD, & qu'elle ſe trouvera au contraire à l'aval du même épi, ſi on le place ſuivant la direction CB. Mais ſi l'on donnoit au même épi une direction GB, en dehors de la maſſe d'eaux dormantes CBDA, cette maſſe augmenteroit du côté de l'épi de tout le triangle CGB, & diminueroit vraiſemblablement de quelque choſe le long le long de la ligne BD, parce que le courant y ſeroit porté un peu plus directement. Il ne paroît pas qu'en donnant à l'épi la direction BH, cela puiſſe produire dans les environs de BC le même effet que l'épi placé en GB produit aux environs de BD.

Quant au cas où l'épi auroit pour objet de détruire un attériſſement placé quelque part entre F & L, il paroît qu'il ſeroit encore aſſez indifférent que cet épi fût placé en CB, en AB, ou en DB ; car le parement CB de la maſſe d'eaux dormantes, occaſionnée

par l'épi AB, ou par l'épi DB, dirigera le courant vers la berge FL, à peu près de la même maniere que le feroit l'épi lui-même, s'il étoit placé en CB.

2°. Lorſque la maſſe d'eaux dormantes, occaſionnée par un épi EG, peut couvrir en entier l'affouillement qu'on ſe propoſe de combler, & lorſque la riviere n'eſt pas d'ailleurs trop profonde vers le milieu de cet affouillement, l'épi EG eſt préférable aux deux HI & LM, tant parce que leur conſtruction coûteroit vraiſemblablement davantage, que parce qu'il réſulteroit de ces deux épis des attériſſemens O, N, P, Q en dehors de l'affouillement à combler. Si l'épi EG ne pouvoit pas produire une maſſe d'eaux dormantes, auſſi étendue que cet affouillement HELG, il faudroit, au lieu lieu de cet épi EG, faire les deux petits *hi*, *lm*. C'eſt donc dans tous les cas une erreur que de propoſer pour remplir un affouillement deux épis placés en dehors, l'un à l'amont, l'autre à l'aval de cet affouillement. FIG. 61.

3°. Quelle que ſoit la direction d'un épi tel que AB, il ne peut gueres ſervir qu'à enlever un attériſſement en angle ſaillant D. Dans le cas où on auroit un attériſſement en longueur HI, un épi EL qui réduiroit la riviere à un canal étroit le long de cet attériſſement, ſeroit le meilleur qu'on pût employer pour le détruire. De petits éperons G, placés le long de ſon parement, accéléreroient beaucoup l'opération en rejettant l'eau par caſcades contre l'attériſſement. Sans l'avantage qu'on retire de ces petits éperons, on pourroit ſe contenter de deux épis AB, CD, pourvu qu'ils ne fuſſent pas abſolument trop éloignés l'un de l'autre, car dans ce cas le parement BD de la maſſe d'eaux dormantes, compriſe entre ces deux épis, doit produire à peu de choſe près le même effet qu'un épi placé ſuivant cette ligne BD. FIG. 62.

Il faut avoir ſoin de couper en divers ſens par de petites tranchées les attériſſemens qu'on veut enlever. On a marqué ces tranchées ſur les fig. 62, 63, 64 & 65. Il eſt auſſi très-utile de labourer l'attériſſement toutes les fois que les eaux ſont aſſez baſſes pour le permettre. FIG. 61, 63, 64 & 65.

Les fig. 64 & 65 repréſentent pluſieurs diſpoſitions d'épis qui ont chacune leur avantage, car il y a tant de variétés dans la viteſſe des fleuves, & ſur-tout dans la conſiſtance de leurs berges, que ce qu'on peut faire de mieux ſur l'un ne convient ſouvent point du tout ſur un autre. C'eſt pour cela que la conduite de ces ſortes d'ouvrages demande, dans ceux qui en ſont chargés, non-ſeulement une expérience conſommée en ce genre, mais même FIG. 64 & 65.

une connoiſſance particuliere de la riviere ſur laquelle on veut travailler.

Différentes manieres de barrer une riviere.

LIX.

Comme pluſieurs Auteurs rangent dans la claſſe des épis les digues deſtinées à barrer entierement un bras de riviere, nous placerons ici ce que nous avons à dire ſur ce ſujet.

La premiere choſe qu'il y ait à faire lorſqu'on veut barrer entierement un bras de riviere, eſt de curer & d'approfondir le lit auquel on veut la reſtreindre. Une autre précaution auſſi eſſentielle & preſque auſſi négligée que la précédente, c'eſt de donner à la digue une épaiſſeur proportionnée à l'augmentation de hauteur d'eau que le barrage occaſionnera néceſſairement. Un épi, tel que GH, conſtruit quelque tems avant que d'entreprendre ce barrage, prépare inſenſiblement l'opération, en approfondiſſant le lit HIL, & en faiſant rehauſſer le fond du bras CDEF qu'on veut barrer.

Fig. 66.

Quant à l'endroit où l'on doit placer la digue & à la direction qu'on veut lui donner, on peut conſulter ce que nous avons dit à ce ſujet (art. XLIV).

Les choſes ainſi préparées, il faut battre une ou pluſieurs files de pilots contre leſquels on appuyera la digue. Nous diſons que la digue doit être appuyée contre les pilots, car une digue enfermée entre deux rangs de pilots, qu'on remplit ſucceſſivement de terre, ne réuſſit preſque jamais. L'eau reſſerrée dans la derniere partie qui reſte à remplir, creuſe ſi profondément en peu de tems, que les parties joignantes qu'on regardoit comme perfectionnées, ſont ſouvent déracinées & emportées avant que la digue ait pu être achevée. Si l'on étoit abſolument obligé de remplir la digue ſucceſſivement & par parties, il faudroit toujours commencer par l'endroit le plus profond, & finir par l'endroit où il y auroit le moins d'eau, & où elle ſeroit le moins rapide.

Pour l'ordinaire on amene contre les pilots une givée de faſcinages qui tient toute la largeur du lit qu'on veut barrer; on la fait échouer en détachant les tonneau xvuides qui la ſoutenoient à flot, & en la chargeant très-promptement de terre, au moyen des grands amas qu'on en a dû faire le plus près qu'il a été poſſible de ſes extrêmités. On doit auſſi avoir des bateaux chargés de terre & glageaux qu'il faut jetter au pied & en amont de la givée,

vée, & qu'on y affermit avec de grands rabots ſemblables à ceux qui ſervent à corroyer le mortier. Ces terres, jettées à l'amont de la givée & que l'eau force à entrer dans les vuides & interſtices qui s'y peuvent trouver, ſont bien plus utiles que celles qu'on jetteroit derriere, & que l'eau qui filtre à travers la givée entraîneroit au-delà.

On pourroit, ſi l'ouvrage méritoit cette dépenſe, faire ſur les pilots deſtinés à ſoutenir la digue un échaffaud compoſé de baſcules qu'on chargeroit de terre, & qu'on renverſeroit toutes enſemble ſur la givée au moment où on détacheroit les tonneaux pour lui faire prendre fond.

Il y auroit une autre maniere de barrer un bras de riviere, ce ſeroit de ſubſtituer des chevres pareilles à celles de la figure 58 aux pilots deſtinés à ſoutenir la digue, & de conſtruire ſur ces chevres mêmes une grande givée dont le pied AB ſeroit compoſé de menues branches bien feuillées. Il n'y a aucun doute qu'en coupant en même tems toutes les harres qui la retiendroient & en la faiſant gliſſer promptement d'une ſeule piece, de maniere que toutes les menues branches ſe refoulaſſent ſur la ligne *ab* du pied des chevres, cette givée auroit aſſez de force pour réſiſter à l'eau juſqu'à ce qu'on eût eu le tems de la charger entierement de terre. FIG. 67.

Il faut principalement avoir attention de regarder à l'aval de la digue les endroits par où l'eau commence à s'ouvrir un paſſage, afin d'y faire promptement porter remede du côté d'amont. Une autre attention non moins eſſentielle que la précédente, c'eſt de veiller aux deux extrêmités de la digue par où l'eau s'échappe très-ſouvent. On prévient cet accident en appuyant chacune de ſes extrêmités par un bout de digue A bien enraciné dans les terres. Il faut auſſi placer à l'amont de la givée, ſi-tôt qu'elle eſt échouée, deux gros fagots de glageaux B, que l'on fixe ſolidement dans l'angle au moyen du fort piquet qui les traverſe. FIG. 68.

Lorſque le fond de la riviere eſt trop mouvant, il faut avec des dragues à la main ou à chapelet, draguer à 2 ou 3 pieds de profondeur tout le terrein ſur lequel on doit aſſeoir la digue, & même 6 pieds au-devant. On ſubſtitue enſuite de la bonne terre glaiſe aux ſables mouvans qu'on a enlevés ; mais pour que cette opération réuſſiſſe, il faut draguer par parties & placer au derriere de l'excavation de petits vannages qui empêchent le courant d'enlever la glaiſe à meſure qu'on la jette.

CHAPITRE VI.

Des Batardeaux.

LX.

QUOIQUE pluſieurs des digues, dont il a été parlé, prennent quelquefois le nom de batardeaux, & qu'on le donne même communément aux digues de maçonnerie qui ſe conſtruiſent dans les foſſés des places fortifiées, on entend plus généralement par *batardeaux* ces eſpeces de digues proviſoires dont l'objet eſt d'enfermer la partie du fond d'une riviere, d'un lac ou de la mer, qu'on veut mettre & tenir à ſec pendant un certain tems, afin d'y conſtruire une vraie digue, un pont ou quelqu'autre ouvrage. C'eſt de ces batardeaux dont il ſera ici queſtion.

LXI.

Le corps d'un batardeau eſt toujours de terre, & plus communément de celle appellée *glaiſe* qui eſt la meilleure, tant par rapport à ſa tenacité, que parce qu'elle peſe plus que les autres & préſente par conſéquent plus de réſiſtance à volume égal. Quand on eſt abſolument obligé de ſe ſervir de terre légere, il faut faire les batardeaux un peu à l'avance, afin de donner à ces terres le tems de ſe raſſeoir.

Lorſqu'un batardeau a peu de hauteur d'eau à ſoutenir, comme
Fig. 69. 1 ou 2 pieds, & que d'ailleurs cette eau eſt dormante; on abandonne quelquefois la terre à elle-même, tel eſt le batardeau A, fig. 69. Plus ſouvent cependant on ſoutient le batardeau du côté de l'ouvrage par de petits pilots, derriere leſquels on met quelques planches ou des claies de ſaules, comme B (même fig.).

Fig. 70. Communément les batardeaux ſont compoſés de deux rangs de pieux A & B, reliés chacun avec ſon oppoſé par une harte CE, en dedans, & contre leſquels on poſe des claies CD, EF, après quoi tout l'eſpace compris entre les claies eſt rempli de bonne terre graſſe, bien corroyée avec les pieds, ou à la dame & au rabot, tant que la profondeur de l'eau eſt trop grande pour que les hommes puiſſent s'y mettre.

Il faut ſur-tout avoir attention, avant que de mettre la terre dans le batardeau, de bien draguer le fond DF, c'eſt-à-dire, d'enlever toute la vaſe, le ſable fin & les groſſes pierres qui s'y trouvent.

Quelquefois on apporte plus de précautions à la conſtruction des batardeaux. Les pieux équarris A ſont couronnés par un chapeau B, & entretenus par une lierne E placée à la hauteur des baſſes eaux, entaillée à la rencontre des pieux & bien boulonnée avec ces pieux. On met en dedans & contre ces mêmes pieux un vannage de planches de deux pouces d'épaiſſeur enfoncées de 6 à 8 pouces en terre, & contretenues par des traverſes de pareille épaiſſeur de deux pouces. Avant que de mettre, battre & marcher la glaiſe derriere les vannages, on relie les chapeaux par des entre-toiſes CD chevillées ſur ces chapeaux, & entaillées à leur rencontre. Fig. 71.

Enfin lorſqu'on veut encore plus de ſolidité, au lieu d'un ſimple vannage de deux pouces appuyé en dedans des pieux, on bat entre ces pieux, & ſur leur même ligne des pal-planches de quatre pouces d'épaiſſeur, qu'on fixe & retient entre deux cours de liernes, comme on le voit fig. 72. Fig. 72.

Les batardeaux les plus difficiles à conſtruire ſont ceux qui doivent être établis ſur le roc vif, dans lequel les pieux ne peuvent par conſéquent pas prendre fiche. La fig. 73 repréſente l'aſſemblage d'un batardeau qui ſeroit très-utile en pareille circonſtance. Le pieu AB, aſſemblé à charniere par ſon pied dans la queue B de la chevre BCD, ſe met facilement à-plomb: on le maintient dans cette poſition en coupant de longueur la contre-fiche AC qu'on aſſemble ſur le tas. Les pieux une fois ainſi fixés à-plomb, le reſte ne ſouffre plus aucune difficulté. Fig. 73.

LXII.

L'épaiſſeur des batardeaux doit ſe calculer comme celle des autres digues; nous obſerverons ſeulement que lorſqu'on les conſtruit, ſuivant ce qui eſt indiqué (fig. 71), & ſur-tout lorſqu'ils ſont garnis de pal-planches de 4 pouces, la réſiſtance des bois eſt alors un objet ſi conſidérable qu'on peut ſe contenter de mettre la terre en équilibre avec la preſſion & le choc de l'eau.

LXIII.

La hauteur des batardeaux ſe regle communément d'après les crues ordinaires, de maniere qu'elles ne puiſſent pas porter l'eau dans l'enceinte. On ſent combien la dépenſe de ces batardeaux ſeroit conſidérable ſur certaines rivieres, ſi on vouloit les tenir au-deſſus des plus grandes crues. Cela dépend au reſte des circonſtances locales, de la nature de l'ouvrage qu'on conſtruit, & du plus ou moins d'inconvénient qu'il y auroit à ce qu'il fût ſubmergé.

Lorſque les batardeaux ont beaucoup de hauteur, on eſt ſouvent obligé de les ſoutenir par des arc-boutans. Il auroit mieux valu les conſtruire par gradins ; ces ſortes de batardeaux facilitent la manœuvre, & l'on peut y employer beaucoup de vieux matériaux qui ne pourroient pas ſervir, ſi on faiſoit le batardeau auſſi large par en haut que par en bas.

LXIV.

La forme d'un batardeau & l'étendue qu'il doit occuper, dépendent principalement de la forme & de la grandeur de l'ouvrage qu'on veut y enfermer, du nombre des chapelets ou autres machines à épuiſer qu'il faut y établir, & des manœuvres plus ou moins compliquées & embarraſſantes qu'on aura à y faire. On doit d'ailleurs placer, autant qu'il eſt poſſible, les flancs d'un batardeau parallelement au fil de l'eau, & il faut toujours ménager au courant une entrée & une ſortie facile dans le lit qui lui reſte, en formant des pans coupés & des avant & arriere-bées qu'on peut voir fig. 74.

Fig. 74.

Cette figure comprend trois batardeaux ; l'un AB eſt deſtiné à favoriſer l'établiſſement de la fondation d'un mur de quai ; le ſecond DEFG enferme une culée H, & une pile I ; quelquefois on fait entre la pile & la culée un petit contre-batardeau KL. Enfin le troiſieme batardeau MN ne renferme qu'une pile.

Lorſque le courant eſt très-rapide, on le rompt quelquefois par un vannage, tel que OP ou CF, placé en avant & à quelque diſtance du batardeau, ce qui le ſoulage beaucoup.

On doit regarder, avant que de déterminer l'emplacement d'un batardeau, s'il n'y a pas au deſſous quelque atteriſſement qu'il convienne de raſer, & dans ce cas on établit les branches de ce batardeau de maniere qu'il puiſſe en même tems ſervir d'épi. C'eſt cette attention à profiter de toutes les circonſtances, qui diſtingue principalement l'homme intelligent du praticien borné.

FIN.

TABLE
DES CHAPITRES.

Exposition du sujet, page 5
CHAPITRE I. *Des Chaussées d'étang*, 6
SECTION I. *Calcul des dimensions de la digue suivant une premiere hypothese*, 10
SECT. II. *Calcul des mêmes dimensions suivant une seconde hypothese*, 15
CHAP. II. *Des ouvrages qui se construisent le long des rivieres pour en garantir les berges & retenir les eaux dans leur lit.* 20
SECT. I. *Des Murs de Quai*, 21
SECT. II. *Des Turcies & Levées*, 28
SECT. III. *Des Revêtemens en fascinage*, 29
CHAP. III. *Des Jettées*, 31
Détermination de la figure la plus avantageuse de la tête d'une jettée, 36
CHAP. IV. *Des Reversoirs*, 41
CHAP. V. *Des Epis*, 49
Différentes manieres de barrer une riviere, 56
CHAP. VI. *Des Batardeaux*, 58

Fin de la Table.

ERRATA.

CET Ouvrage n'ayant pas été imprimé ſous les yeux de ſes Auteurs, il s'y eſt gliſſé un très-grand nombre de fautes, ſur-tout dans les calculs. On va indiquer & corriger les principales.

Page 7, *ligne* 2, réſervoirs, *liſez* réverſoirs.

Pag. 8, *lig.* 12, de eaux, *liſez* des eaux.

Ibid. *à la marge, vis-à-vis la ligne* 14, Fig. 2, *liſez* Fig. 1.

Pag. 13, *lig.* 22, *on a mis le chiffre* 2 *pour la lettre* z.

Pag. 14, *lig.* 3, $\frac{nbzz}{2}$ *liſez* $\frac{nbzz}{2z}$.

Pag. 16, *lig.* 32, poids comme Q, *liſez* poids connu Q.

Ibid. *lig.* 34, K, *liſez* k.

Pag. 17, *lig.* 21, *dans le dernier terme de l'équation, au lieu de* $\frac{1}{z}-1$ *liſez* $\frac{1}{z}-1$.

Pag. 18, *lig.* 19, N = O, *liſez* N = o.

Ibid. *à la marge, vis-à-vis la lig.* 22, *mettez* Fig. 9.

Pag. 22, *lig.* 6, e cas, *liſez* le cas.

Ibid. *lig.* 26, $\sqrt{aa \times ff}$, *liſez* $\sqrt{aa+ff}$.

Ibid. *lig.* 27, le ſinus total = i, *liſez* le ſinus total = 1.

Pag. 24, *lig.* 17, du, *liſez* un.

Ibid. *lig.* 18, du, *liſez* de.

Ibid. *lig.* 20, $\frac{mqa^2V^2q^2r^2}{2Kv^2}$ *liſez* $\frac{mQa^2V^2q^2r^2}{2Kv^2}$.

Pag. 27, *lig.* 32, les lignes *ab* l'indiquent, *liſez* la ligne *ab* l'indique.

Pag. 33, *lig.* 24, caiſſe, *liſez* laiſſe.

Pag. 40, *lig.* 8, (*ſin.* BAE), *liſez* (*ſin.* BAE)^2 (*les* 2 *qui doivent affecter les ſinus ſont effacés dans tout cet endroit*).

Ibid. *lig.* 19, $\left(\frac{(b-x)r-qa}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}\right)$ *liſez* $\left(\frac{(b-x)r-qa}{\sqrt{aa+(b-x)^2}}\right)^2$.

Pag. 42, *lig.* 26, réſervoirs, *liſez* réverſoirs.

Pag. 43, *lig.* 6, commencement, *liſez* couronnement.

Ibid. *on a oublié de citer à la marge, la* Figure 46.

Pag. 44, *lig.* 8, RM, *liſez* Rm.

Pag. 52, *lig.* 18, à craincre, *liſez* à craindre.

Pag. 54, *lig.* 34, *ſupprimez ces mots*, le long, *qui ſe trouvent répetés.*

Pag. 55, *on a oublié de citer à la marge la* Figure 63.

APPROBATION.

J'AI lu par ordre de Monſeigneur le Vice-Chancelier, un manuſcrit intitulé : *Recherches ſur la conſtruction la plus avantageuſe des Digues, &c.* & je penſe que ſon impreſſion ne peut qu'être très-utile au Public, & faire honneur à ſes Auteurs. A Paris, le 25 Septembre 1764.

MONTUCLA.

PRIVILEGE DU ROI.

LOUIS, par la grace de Dieu, Roi de France & de Navarre : A nos amés & féaux Conſeillers, les Gens tenant nos Cours de Parlement, Maitres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand Conſeil, Prevôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Juſticiers qu'il appartiendra : SALUT. Notre amé CHARLES-ANTOINE JOMBERT, notre Libraire à Paris, Nous a fait expoſer qu'il deſireroit faire imprimer & réimprimer des Ouvrages qui ont pour titre : *ARCHITECTURE HYDRAULIQUE ; Bibliotheque portative d'Architecture élémentaire ; Architecture Françoiſe, par M. Blondel ; Cours d'Architecture de Vignole, par d'Aviler, avec un Dictionnaire des termes d'Architecture, par le même ; Méthode pour apprendre le Deſſein, avec des Figures & des Academies ; Anatomie à l'uſage des Peintres, par Tortebat ; Géometrie de Le Clerc ; Traité de Stéréotomie, par M. Frezier ; Architecture Moderne ; De la décoration des Edifices, par M. Blondel ; la Théorie & la Pratique du Jardinage, par Alexandre Le Blond ; Œuvres de M. Oranam ; Œuvres de M. Belidor ; ſavoir, le Cours de Mathématique, la Science des Ingénieurs, le Bombardier François ; Cours de Science militaire, par M. Le Blond, contenant l'Arithmétique & la Géometrie de l'Officier, la Fortification, l'Artillerie, l'Attaque & la Défenſe des Places, la Coſtramétation, la Taſtique, &c. Recueil des Pierres gravées du Cabinet du Roi*, s'il nous plaiſoit de loi accorder nos Lettres de privilege pour ce néceſſaires. A CES CAUSES, voulant favorablement traiter l'Expoſant, nous lui avons permis & permettons par ces Préſentes, de faire imprimer & réimprimer leſdits Ouvrages, autant de fois que bon lui ſemblera, & de les vendre, faire vendre & débiter par tout notre Royaume, pendant le tems de dix années conſécutives, à compter du jour de la date des Préſentes : Faiſons défenſes à tous Imprimeurs, Libraires & autres perſonnes, de quelque qualité & condition qu'elles ſoient, d'en introduire d'impreſſion étrangere dans aucun lieu de notre obéiſance : comme auſſi d'imprimer ou faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire leſdits Ouvrages, ni d'en faire aucuns extraits, ſous quelque prétexte que ce ſoit, d'augmentation, correction, changemens ou autres, ſans la permiſſion expreſſe & par écrit dudit Expoſant, ou de ceux qui auront droit de lui ; à peine de confiſcation des exemplaires contrefaits, de trois mille livres d'amende contre chacun des contrevenans, dont un tiers à Nous, un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, & l'autre tiers audit Expoſant, ou à celui qui aura droit de lui, & de tous dépens, dommages & intérêts : à la charge que ces Préſentes ſeront enregiſtrées tout au long ſur le Regiſtre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, dans trois mois de la date d'icelles ; que l'impreſſion & réimpreſſion deſdits Ouvrages ſera faite dans notre Royaume, & non ailleurs, en bon papier & beaux caracteres, conformément à la feuille imprimée, attachée pour modele ſous le contre-ſcel des Préſentes ; que l'Impétrant ſe conformera en tout aux Réglemens de la Librairie, & notamment à celui du 10 Avril 1725 ; & qu'avant de les expoſer en vente, les manuſcrits & imprimés qui auront ſervi de copie à l'impreſſion & réimpreſſion deſdits Ouvrages, ſeront remis dans le même état où l'Approbation y aura été donnée, ès mains de notre très-cher & féal Chevalier, Chancelier de France, le Sieur DE LAMOIGNON ; & qu'il en ſera enſuite remis deux exemplaires de chacun dans notre Bibliotheque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, un dans celle dudit Sieur DE LAMOIGNON, & un dans celle de notre

très-cher & féal Chevalier Vice-Chancelier & Garde des Sceaux de France, le Sieur DE MAUPEOU ; le tout à peine de nullité des Préſentes. Du contenu deſquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir ledit Expoſant ou ſes ayans cauſe, pleinement & paiſiblement, ſans ſouffrir qu'il leur ſoit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie deſdites Préſentes, qui ſera imprimée tout au long au commencement ou à la fin deſdits Ouvrages, ſoit tenue pour duement ſignifiée ; & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés & féaux Conſeillers-Secretaires, foi ſoit ajoutée comme à l'original. Commandons au premier notre Huiſſier ou Sergent ſur ce requis, de faire, pour l'exécution d'icelles, tous actes requis & néceſſaires, ſans demander autre permiſſion, & nonobſtant clameur de haro, Charte normande, & Lettres à ce contraires ; CAR tel eſt notre plaiſir. DONNÉ à Paris, le premier jour du mois de Février, l'an de grace mil ſept cent ſoixante-quatre, & de notre Regne le quarante-neuvieme. Par le Roi en ſon Conſeil.

LE BEGUE.

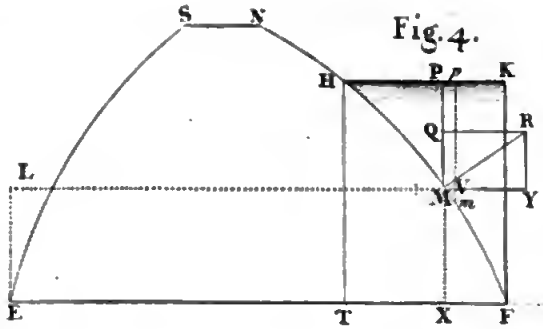
Regiſtré ſur le Regiſtre XVI de la Chambre Royale & Syndicale des Libraires & Imprimeurs de Paris, n°. 115, fol. 61, conformément aux Reglemens de 1723. A Paris, le 6 Février 1764.

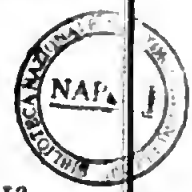
LE BRETON, Syndic.

69700

Fig.3

Fig.4.





8.—

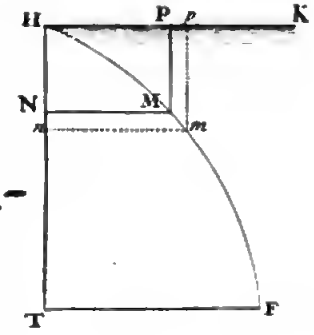


Fig.9.

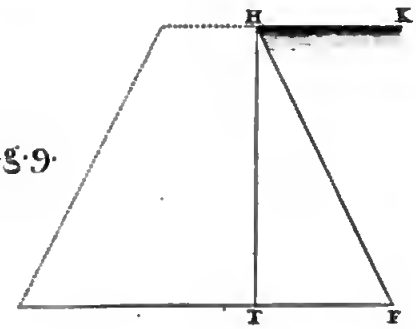
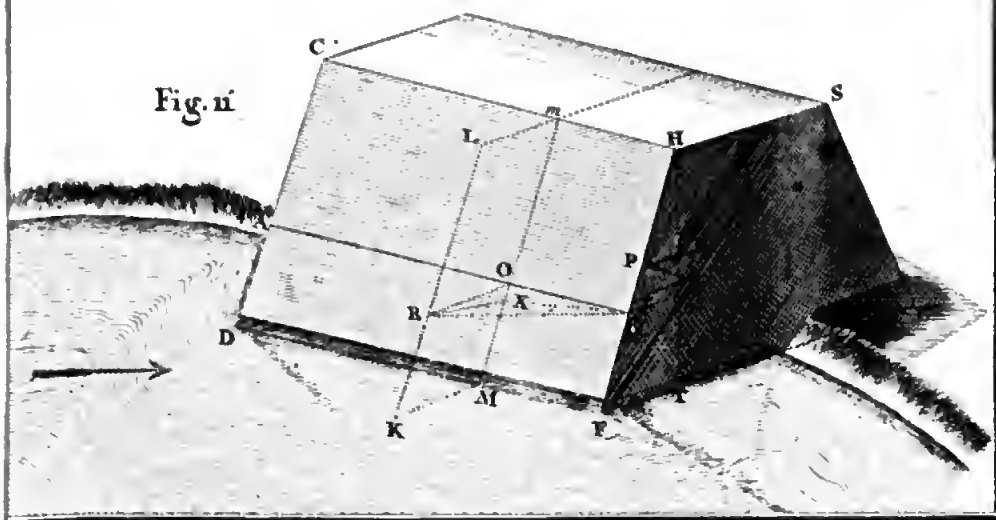


Fig. 12

Fig.11



sur les Fig 6 et 7.

5 6pi

1 2 Toises

Echelle pour la Fig 10.

1 2 3 4 5 6pi

1 2 3 4 5 6 Toises

Dupain Triel Sc.

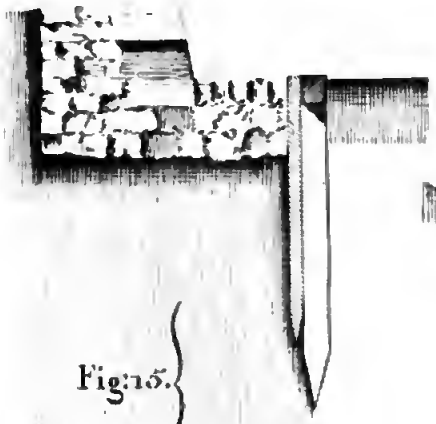
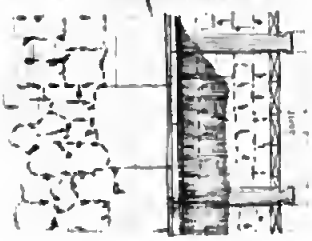


Fig. 15.



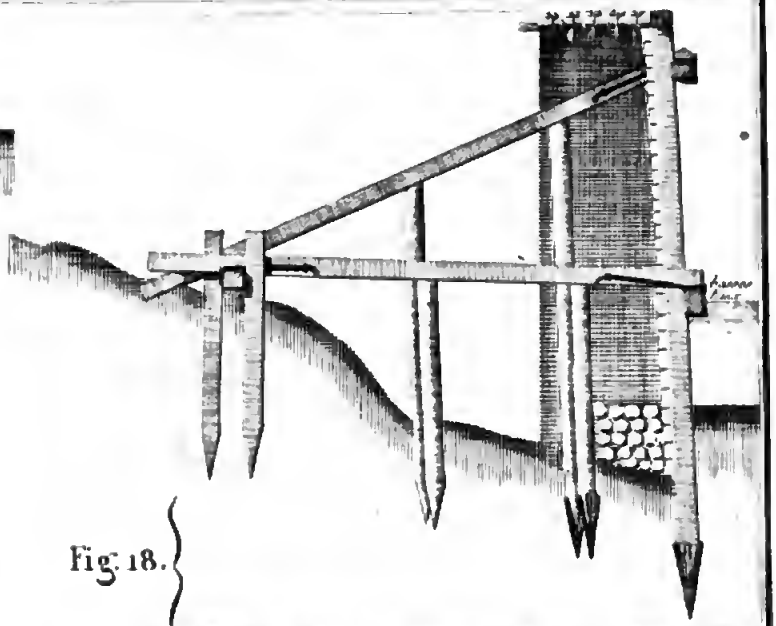
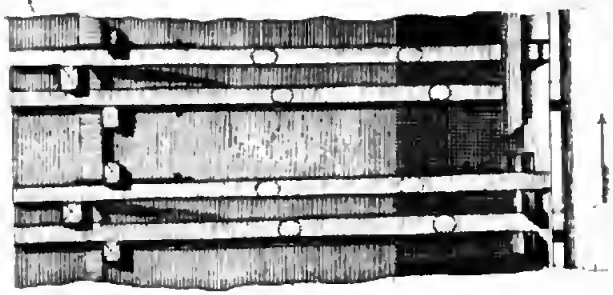


Fig. 18.



16.

17

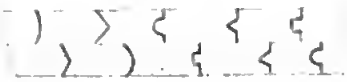


Fig. 19.

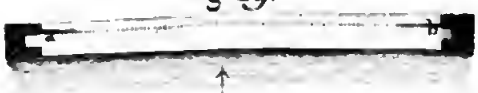


Fig. 20.

2.

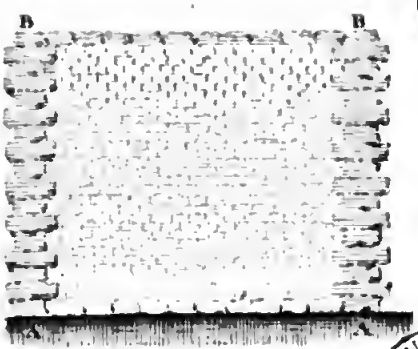
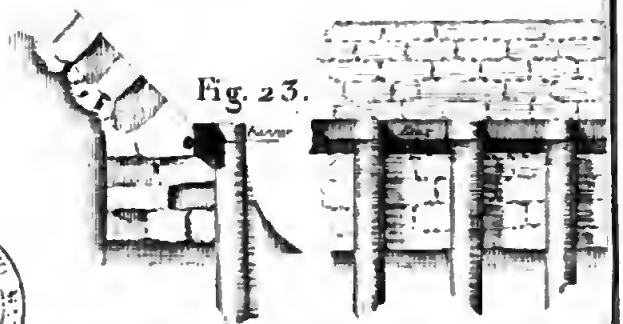


Fig. 23.



BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE
NAPOLI

Fig. 14 15 et 23.

Echelle pour les Fig. 21 et 22.

Digitized by Google

Fig. 28.

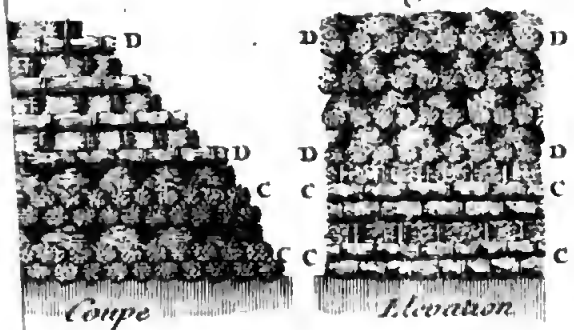


Fig. 29.

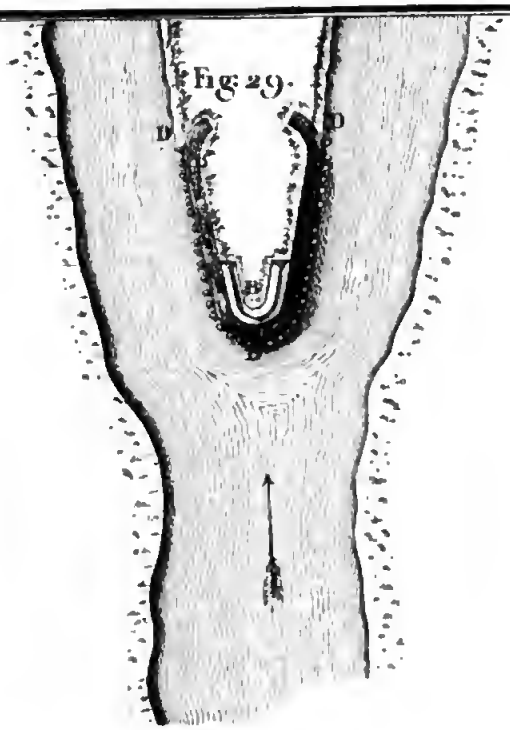


Fig. 26.

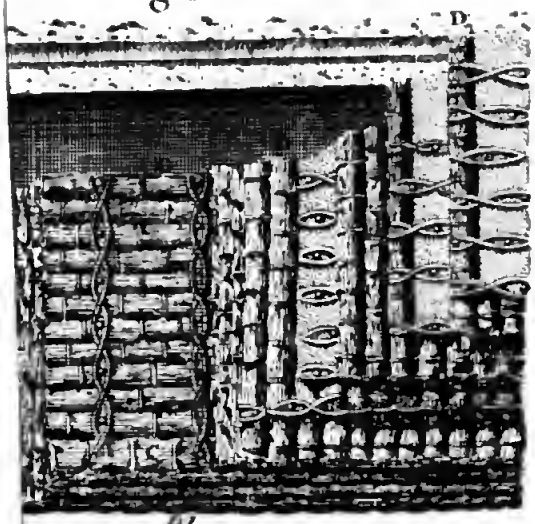


Fig. 31.

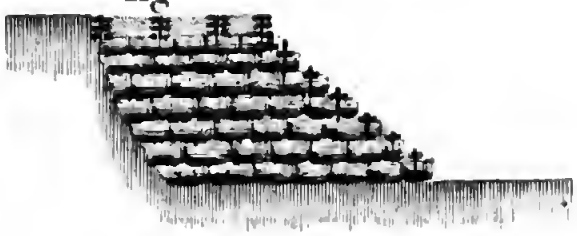


Fig. 33.

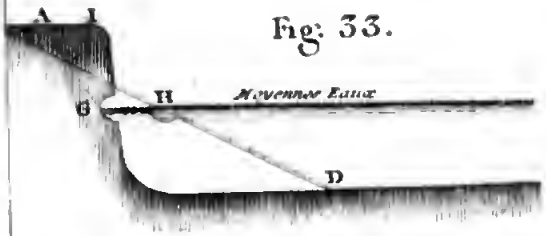
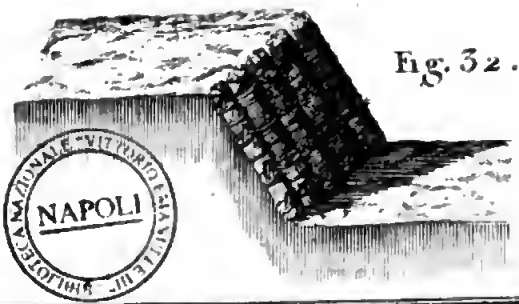


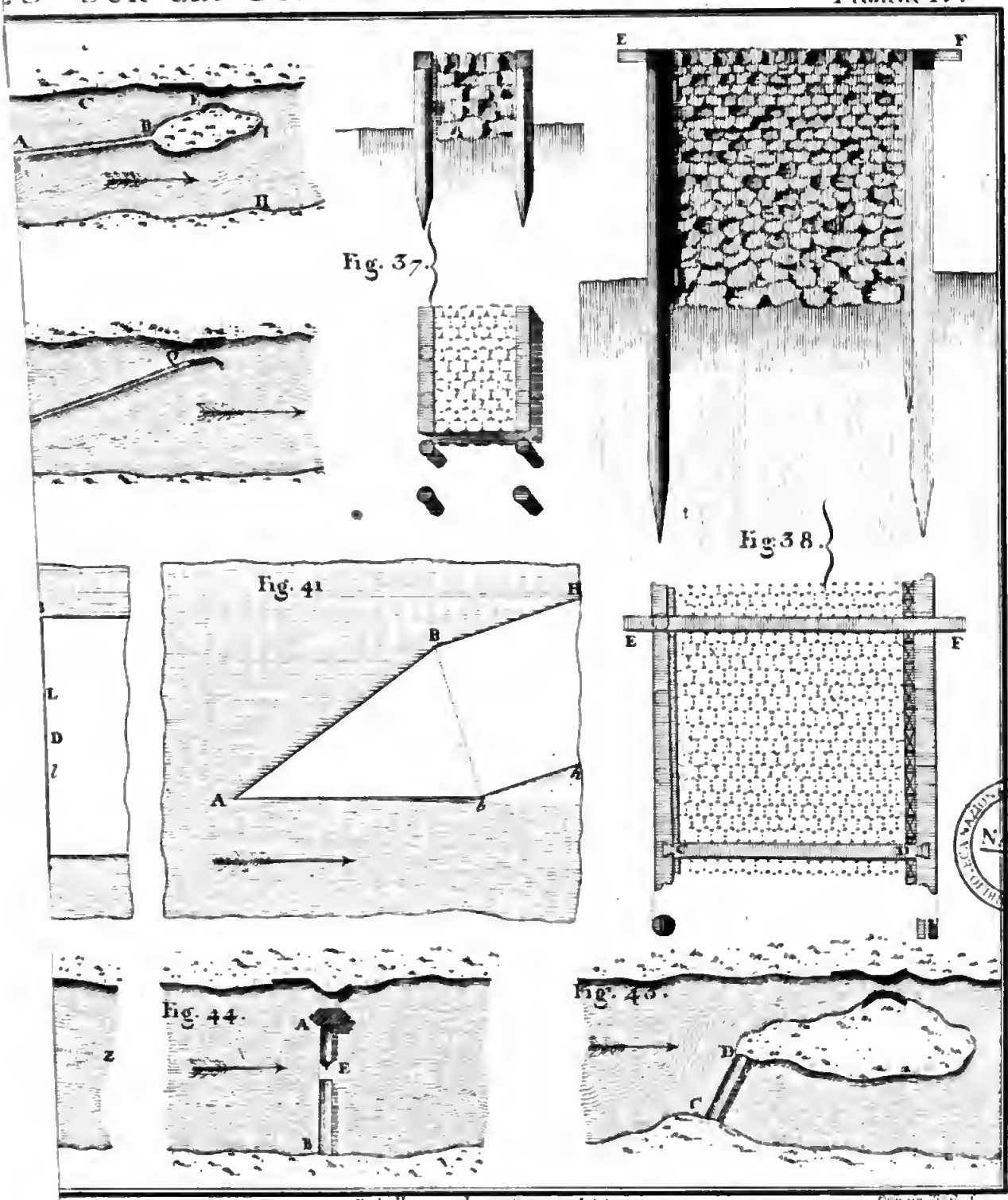
Fig. 32.



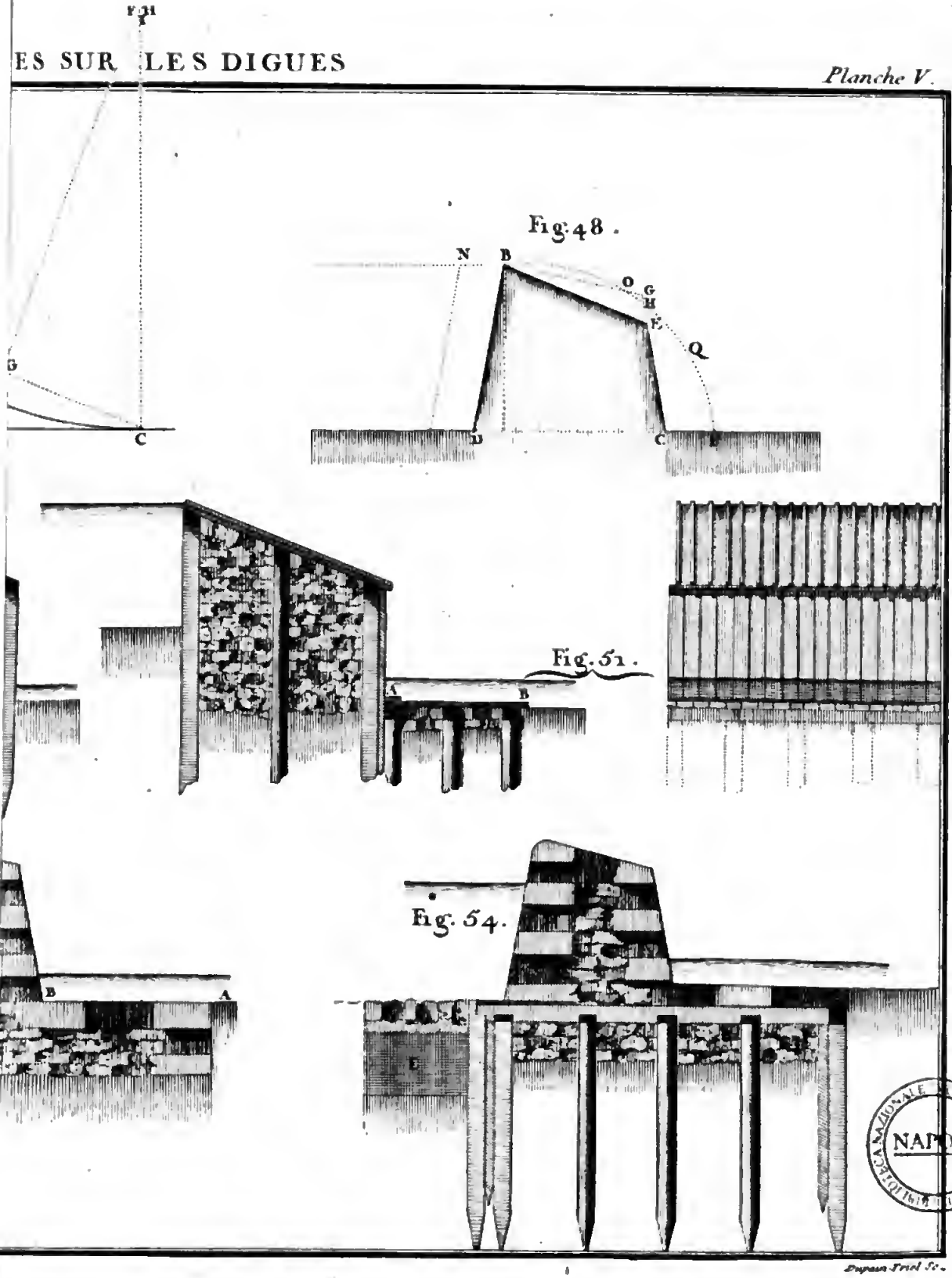
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Echelle pour les Figures 26 27 28 31 & 32

Pupan Trial Sc


C
E
B
A
H
Fig. 37.
E
F
Fig. 38.
Fig. 41
H
B
A
L
D
l
E
F
Fig. 44.
A
E
B
Fig. 43.
B
C
Echelle pour les Fig 37 et 38.
1 2 3 4 5 6
1
2
3
4
5 toises

NAPOLI



Dupain Triel Sc.

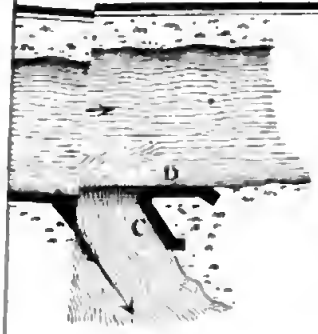


Fig. 57.

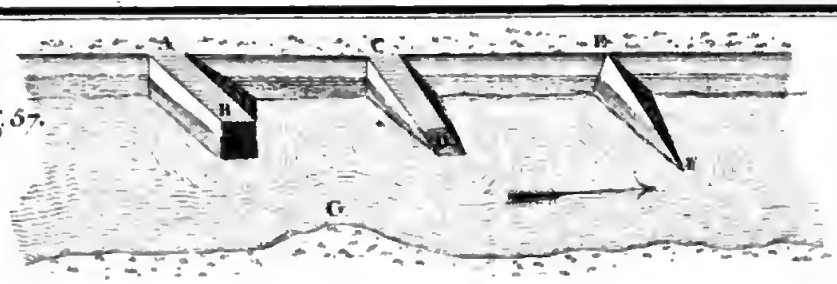


Fig. 60.

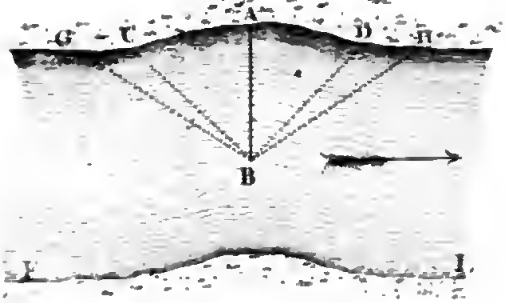
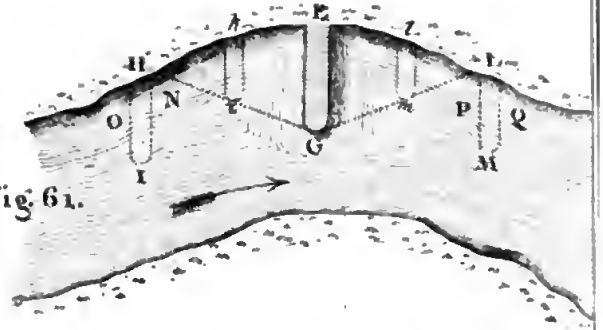


Fig. 61.



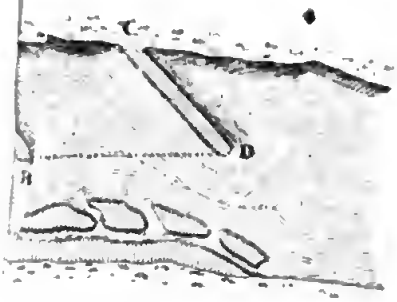


Fig. 64.

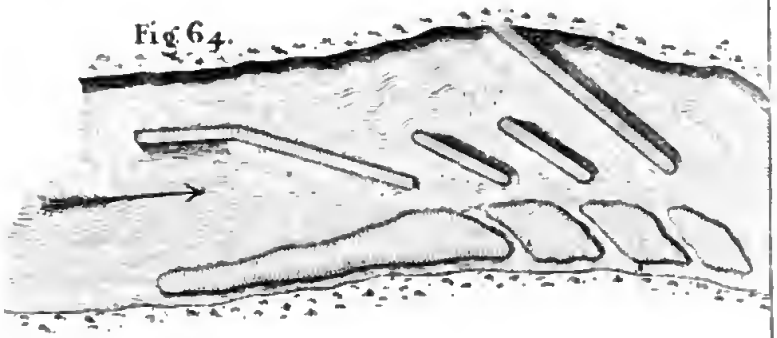


Fig. 68.

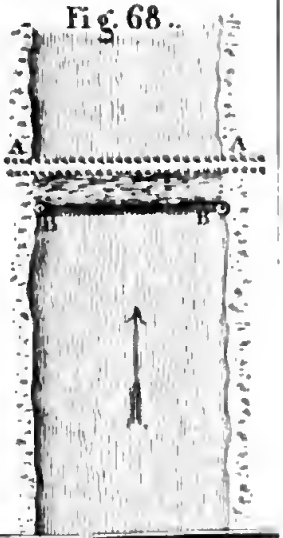


Fig. 65.

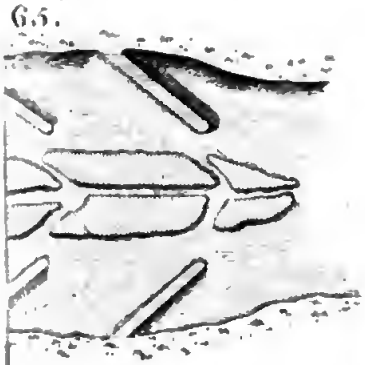
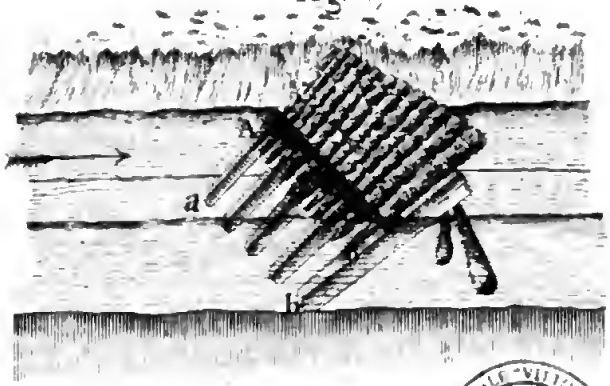


Fig. 67.

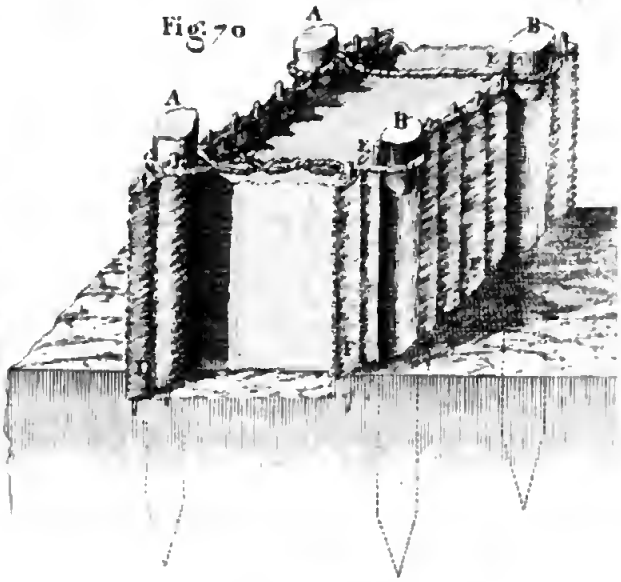


NAPOLI

Pappain Irid. Sc.

Fig. 69.

Fig. 70



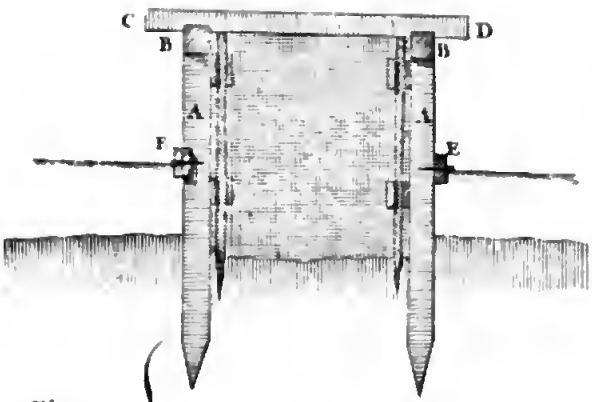


Fig. 72.

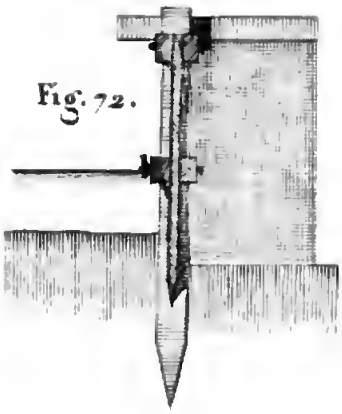


Fig. 71

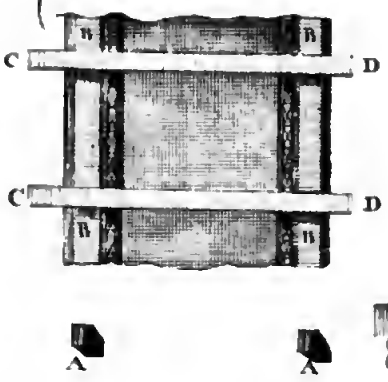
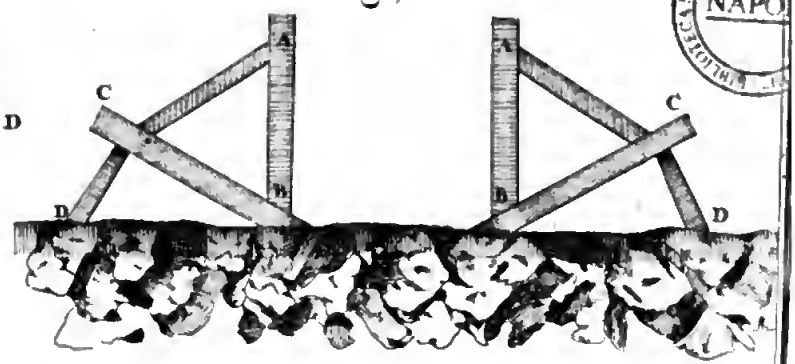


Fig. 73



NAPO

Dupain Trial S.